



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA
DE MINAS Y ENERGÍA



Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO PRELIMINAR DE VIABILIDAD DE UN
SISTEMA DE DISTRICT HEATING GEOTÉRMICO
APROVECHANDO SISTEMAS MINEROS
ABANDONADOS**

**Preliminary feasibility study of a geothermal
District Heating using abandoned mines**

Para acceder al título de:

Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros

Autora: María Carmona Puente

Directora: Raquel Martínez Torre

Convocatoria: Junio 2021

Índice

1	INTRODUCCIÓN	7
1.1	CAMBIO CLIMÁTICO	7
1.1.1	Causas y consecuencias del cambio climático:	7
1.1.2	Adaptación al cambio climático	10
1.2	SECTOR MINERO EN ESPAÑA	15
1.2.1	Minería en España.....	15
1.3	APROVECHAMIENTO DE MINAS ABANDONADAS.....	22
1.3.1	Restauración de una mina.....	22
1.3.2	Usos de antiguas minas.....	22
1.3.3	Actividades para el cierre de una mina	22
1.3.4	Almacenamiento de energía en pozos profundos de minas abandonadas	23
1.3.5	Aprovechamiento energético del agua de las minas	23
1.4	DISTRICT HEATING.....	25
1.4.1	Orígenes del District Heating	25
1.4.2	Funcionamiento de un sistema District Heating	25
1.4.3	Ventajas del District Heating	25
1.4.4	Casos de District Heating en el mundo y España	26
1.5	GEOTERMIA.....	28
1.5.1	Tipos de yacimientos geotérmicos:.....	29
1.5.2	Panorama actual de la energía geotérmica	29
1.5.3	Recursos geotérmicos en España	32
2	Objetivos y Alcance	36
2.1	OBJETIVOS DEL TRABAJO	36
2.2	ALCANCE DEL TRABAJO	36
3	ESTADO DEL ARTE	37
3.1	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO DEL EMPLAZAMIENTO	37
3.1.1	Evaluación de los recursos geotérmicos	41
3.1.2	Recursos geotérmicos del emplazamiento	42
3.2	SISTEMAS DE DISTRICT HEATING CON GEOTERMIA EXISTENTES	46
3.2.1	Europa: proyecto Geo-DH	47
3.2.2	Sistema de calefacción urbana de Southampton, UK.	47
3.3	APROVECHAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA MINERA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA.	48
3.3.1	Sistema abierto de captación geotérmica.....	49

3.3.2	Intercambiador de calor.....	50
3.3.3	Calidad de las Aguas de Mina.....	50
3.3.4	Caudal de Agua Disponible.....	50
3.3.5	Temperatura de las aguas.....	50
3.3.6	Capacidad de regulación.....	50
3.3.7	Funcionamiento de la bomba de calor.....	50
3.3.8	Partes del sistema de District Heating.....	50
3.3.9	Central térmica.....	51
3.3.10	Bomba de calor geotérmica.....	52
4	MINA DE REOCÍN.....	63
4.1	HISTORIA.....	63
4.2	CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO.....	64
4.2.1	Características generales de la Mina de Reocín.....	64
4.2.2	Planos.....	67
4.2.3	Características del Pozo de Santa Amelia.....	71
5	METODOLOGÍA.....	81
5.1	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO DE LA ZONA.....	81
5.1.1	Evaluación preliminar de la potencia térmica superficial.....	81
5.1.2	Estimación de los Recursos de Base Accesible (RBA).....	82
5.1.3	Evaluación de recursos y calor almacenado.....	83
5.1.4	Fundamentos térmicos del terreno.....	84
5.2	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA.....	86
5.2.1	Demanda energética del emplazamiento.....	86
5.2.2	Dimensionamiento del sistema geotérmico.....	88
6	RESULTADOS.....	91
6.1	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO DE LA ZONA.....	91
6.1.1	Evaluación preliminar de la potencia térmica superficial.....	91
6.1.2	Estimación de los Recursos de Base Accesible (RBA).....	91
6.1.3	Evaluación de recursos y calor almacenado.....	91
6.1.4	Fundamentos térmicos del terreno.....	92
6.2	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA.....	94
6.2.1	Demanda energética del emplazamiento.....	94
6.2.2	Dimensionamiento del sistema geotérmico:.....	97
6.3	PREDISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRICT HEATING CON BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA PARA EL POZO DE SANTA AMELIA.....	98
6.3.1	District Heating geotérmico con central en el Pozo de Santa Amelia.....	99

6.3.2	District Heating geotérmico con en el district heating en el emplazamiento de destino	103
6.4	ESTIMACIÓN ECONÓMICA	106
6.4.1	Coste de la planta de calor	106
6.4.2	Coste de la red de distribución.....	106
6.4.3	Coste de las instalaciones de consumidores	107
6.4.4	Coste total de las instalaciones	107
6.4.5	Modelo de negocio.....	107
6.5	Impacto	109
6.5.1	Ambiental	109
6.5.2	Social	110
7	CONCLUSIONES	111
8	REFERENCIAS	112

Índice de ilustraciones

Ilustración 1-1 Temperatura media global en la superficie del planeta. Fuente: iagua	8
Ilustración 1-2 Emisión de gases de efecto invernadero por sector. Fuente: Europarl	9
Ilustración 1-3 Evolución del número de explotaciones mineras. Fuente: Estadística Minera de España	19
Ilustración 1-4 Evolución del número de explotaciones mineras. Fuente: Estadística Minera de España	20
Ilustración 1-5 Impacto en el PIB (M€). Fuente: IGNE	21
Ilustración 1-6 Impacto en el empleo por sectores (miles personas/año). Fuente: IGNE	21
Ilustración 1-7 Esquema aprovechamiento geotérmico del agua de minas abandonadas en Holanda. Fuente: geotermiaonline	24
Ilustración 1-8 Ciudades europeas con sistemas de D.H. Fuente: UDIMA	27
Ilustración 1-9 Ciudades Europeas de más de 5000 habitantes con sistemas de enfriamiento colectivo. Fuente: UDIM.....	28
Ilustración 1-10 Principales países productores de energía geotérmica. Fuente: Guía de la energía geotérmica	32
Ilustración 1-11 Distribución de recursos geotérmicos según temperatura. Fuente: IDAE	34
Ilustración 3-1 Clasificación francesa de recursos y reservas geotérmicas. Fuente: IDAE.....	38
Ilustración 3-2 Clasificación Muffler y Cataldi de recursos y reservas geotérmicas. Fuente: IDAE .	39
Ilustración 3-3 Diagrama de McKelvey adaptado a la geotermia. Fuente: IDAE	40
Ilustración 3-4 Mapa de potencia térmica superficial de Cantabria. Fuente: IDAE	44
Ilustración 3-5 Mapa de situación de acuíferos para su uso térmico con bomba de calor en Cantabria. Fuente: IDAE	45
Ilustración 3-6 Principio de funcionamiento de la bomba de calor. Fuente: Síntesis del Estudio Parque de Bombas de Calor en España.....	52
<i>Ilustración 3-7 Bomba de calor de compresión mecánica accionada por motor eléctrico. Fuente: Síntesis del Estudio Parque de Bombas de Calor en España.</i>	<i>53</i>
Ilustración 3-8 Ciclo simple de refrigeración. Fuente: Universidad de Cantabria.....	54
Ilustración 3-9 Gráfica funcionamiento bomba de calor simple. Fuente: Universidad de Cantabria	54
Ilustración 3-10 Sección compresor alternativo	55
Ilustración 3-11 Ejes de un compresor rotativo	55
Ilustración 3-12 Evaporador bomba de calor. Fuente: refrielectriclasose.....	56
Ilustración 3-13 Válvula de expansión. Fuente: juntadeandalucia	57
Ilustración 3-14 Condensador bomba de calor. Fuente: refrielectriclasose	57
Ilustración 3-15 Esquema de funcionamiento de una bomba de calor y los focos fríos para calefacción. Fuente: Síntesis del Estudio Parque de Bombas de Calor en España.	58
Ilustración 3-16 Flujos de energía en una bomba de calor. Fuente: Síntesis del Estudio Parque de Bombas de Calor en España	59
Ilustración 3-17 Esquema de funcionamiento de una bomba de calor reversible. Fuente: Parque de Bombas de Calor en España	60
<i>Ilustración 3-18 Esquema nemotécnicos de los modos de calefacción y refrigeración. Fuente: Parque de Bombas de Calor en España</i>	<i>60</i>
Ilustración 3-19 Sistema en cascada de dos sistemas de una etapa. Fuente: mundohvacr	61
Ilustración 3-20 Balance energético en la bomba de calor. Fuente: Parque de Bombas de Calor en España	62

Ilustración 4-1 Situación mina de Reocín y principales ríos de Cantabria. Fuente: karst de la mina de Reocín.....	64
Ilustración 4-2 Corte zona centro mina de Reocín. Fuente: karst de la mina de Reocín	65
Ilustración 4-3 Corte Mina de Reocín. Fuente: Karst de la mina de Reocin.....	66
Ilustración 4-4 Corte mina de Reocín. Fuente: karst mina de Reocín.....	66
Ilustración 4-5 Plano general Mina de Reocín. Fuente: Fondo Mina de Reocín. EPI ME.....	67
Ilustración 4-6 Corte Mina de Reocín por el pozo Santa Amelia. Fuente: Fondo Mina de Reocín. EPI ME	68
Ilustración 4-7 Plano de labores Mina de Reocín. Fuente: Fondo Mina de Reocín. EPI ME	69
Ilustración 4-8 Plan de labores. Explotación a cielo abierto. Fuente: Fondo Mina de Reocín. EPI ME	70
Ilustración 4-9 Plan de labores. Explotación a cielo abierto Escombrera. Fuente: Fondo Mina de Reocín. EPI ME	71
Ilustración 4-10 Detalle del Mapa Geológico correspondiente a la Mina de Reocín. Fuente: MAGMA50.....	72
Ilustración 4-11 Leyenda del Mapa Geológico. Fuente: MAGMA50.....	73
Ilustración 4-12 Pozo Santa Amelia previo a la profundización. Fuente: Fondo Mina Reocín. EPI ME	77
Ilustración 4-13 Profundización Pozo Santa Amelia. Fuente: Fondo Mina Reocín. EPI ME.....	79
Ilustración 5-1 Factores de corrección por zona climática. Fuente: alpinoclima.....	87
Ilustración 5-2 Dimensionamiento bomba de calor geotérmico. Fuente: akiter.....	89
Ilustración 6-1 Evolución de la temperatura con la profundidad	94
Ilustración 6-2 Consumo unitario por hogar. Fuente: SPACHOUSE	96
Ilustración 6-3 Distribución del agua caliente con el sistema DH en Reocín.	99
Ilustración 6-4 Esquema distribución agua mina	100
Ilustración 6-5 Curvas características de las bombas SP UGP-2807-06. Fuente: INDAR	101
Ilustración 6-6 Tuberías de distribución a diferentes puntos de interés	102
Ilustración 6-7 Esquema de la zona de alta temperatura. Fuente: prezi	103
Ilustración 6-8 Distribución de agua caliente con sistema DH en Puente San Miguel	104
Ilustración 6-9 Esquema distribución agua mina	105

Índice de Tablas

Tabla 1-1 Riesgos del cambio climático y medidas preventivas. Fuente: PNIEC	11
Tabla 1-2 Relación sistema energético y recursos vulnerables al cambio climático. Fuente: PNIEC	13
Tabla 1-3 Número de explotaciones y valor de la producción en M€ por sectores. Fuente: IDAE .	16
Tabla 1-4 Número de explotaciones y valor de la producción en M€ por sectores. Fuente: IDAE .	16
Tabla 1-5 Distribución del valor de la producción por Comunidades Autónomas. Fuente: IDAE....	18
Tabla 3-1 Capacidad de extracción de calor de las rocas. Fuente: IDAE.....	43
Tabla 3-2 Grupos de litologías establecidas en función de características térmicas de la roca y potencial térmico correspondiente. Fuente: IDAE.....	43
Tabla 3-3 Características de las aguas subterráneas de Cantabria para su aprovechamiento térmico. Fuente: IDAE	45
Tabla 3-4 Sondeo Visera5. Perfil 240. Fuente: Fondo de Mina de Reocín. EPI ME.....	74
Tabla 3-5 Sondeo Visera5. Perfil 225. Fuente: Fondo de Mina de Reocín. EPI ME.....	74
Tabla 3-6 Sondeo Visera4 Min de Reocín. Perfil 225. Fuente: Fondo Mina de Reocín. EPI ME.....	74
Tabla 3-7 Sondeo visera4 Mina de Reocín. Perfil 210. Fuente: Fondo Mina de Reocín. EPI ME	75
Tabla 3-8 Rocas que atraviesa el pozo. Densidad y Cap.calorífica de éstas. Fuente: Fondo Mina Reocín. EPI ME	80
Tabla 3-9 Capacidad de extracción de calor según el tipo de roca. Fuente: IDAE	81
Tabla 3-10 Demanda térmica por local. Fuente: Junkers.....	87
Tabla 3-12 Distribución de tipo de sistema de calefacción por tipo de vivienda y zona climática. Fuente: IDAE.....	95
Tabla 3-13 Costes de inversión unitarios de la red de distribución	106
Tabla 3-14 Costes unitarios y pérdidas de las instalaciones de los consumidores	107
Tabla 3-15 Factores de emisión de CO ₂ y poderes caloríficos por defecto para la combustión estacionaria por tipo de combustible. Fuente: Informe inventarios España.....	109

1 INTRODUCCIÓN

1.1 CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es la variación del clima de la tierra. Lo causan diferentes efectos naturales y la acción del hombre y se produce sobre la temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc, a diferentes escalas de tiempo.

Estos cambios llevan existiendo desde el inicio de la historia de la Tierra, han sido progresivos o abruptos y se deben a causas relacionadas con los cambios en los parámetros orbitales, modificaciones de la radiación solar, la deriva continental, periodos de vulcanismo intenso, procesos bióticos o impactos de meteoritos. Actualmente, el cambio climático se relaciona, en mayor medida, con la intensificación del efecto invernadero producido por las emisiones industriales que provienen de la quema de combustibles fósiles.

Actualmente, se está trabajando activamente para entender el clima pasado y futuro mediante observaciones y modelos teóricos. Para ello se recopila un registro climático del pasado de la Tierra basado en la evidencia geológica a partir de sondeos geotécnicos de perfiles térmicos, testigos de hielo, registros de la flora y fauna, procesos glaciares y análisis isotópico de las capas de sedimento y registros de los niveles del mar del pasado. Cualquier variación a largo plazo observado a partir de estos indicadores puede indicar un cambio climático.

Hoy en día existe un consenso científico en torno a la idea de que nuestro modo de producción y consumo energético genera una modificación climática global, que provocará importantes impactos sobre la tierra y los sistemas socioeconómicos.

En el año 2001 el Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) (1) apuntaba que existen numerosas evidencias sobre el cambio climático y los impactos que puede derivar. La temperatura ha sufrido un aumento de unos 0,6°C en el siglo XX. El nivel del mar ha aumentado entre 10 y 12 centímetros y los expertos consideran que se debe a la expansión de océanos, cada vez más calientes.

El Informe de Síntesis del Quinto Informe de Evaluación del IPCC apunta que “la influencia humana en el sistema climático es clara y va en aumento, y sus impactos se observan en todos los continentes. Si no se le pone freno, el cambio climático hará que aumente la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles en las personas y ecosistemas. Sin embargo, existen opciones para la adaptación al cambio climático, y con actividades de mitigación rigurosas se puede conseguir que los impactos del cambio climático permanezcan en un nivel controlable, creando un futuro más claro y sostenible”. (2)

El cambio climático es un fenómeno ambiental y de importantes consecuencias económicas y sociales. Los países más pobres serán los que sufrirán las peores consecuencias. El Informe de Síntesis de 2014 mantiene con claridad que “muchos riesgos son particularmente problemáticos para los países menos adelantados y las comunidades vulnerables, dada su limitada capacidad para afrontarlos. Las personas marginadas en los ámbitos social, económico, cultural, político, institucional u otro son especialmente vulnerables al cambio climático” (2).

1.1.1 Causas y consecuencias del cambio climático:

La principal causa del cambio climático es el calentamiento global y tiene importantes consecuencias en los sistemas físicos, biológicos y humanos entre otros.

1.1.1.1 El efecto invernadero.

Es el proceso natural que permite a la Tierra mantener las condiciones necesarias para mantener vida: la atmósfera retiene parte del calor del Sol; si no existiera el efecto invernadero, la temperatura media del planeta sería 18°C bajo cero.

La atmósfera está compuesta por gases que cumplen su cometido, cada uno en su proporción. El problema se desarrolla cuando las actividades del ser humano aumentan la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera y se retiene más calor del necesario, provocando así que la temperatura media del planeta se eleve y se produzca lo que llamamos calentamiento global. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** podemos apreciar la curva que genera la evolución de la temperatura media global en la superficie del planeta.

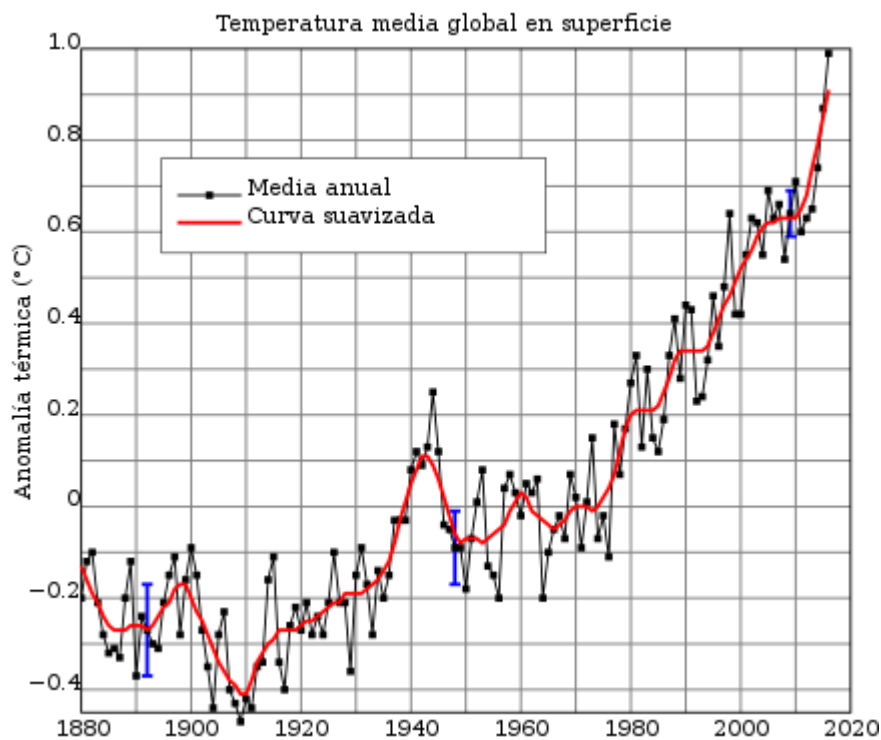


Ilustración 1-1 Temperatura media global en la superficie del planeta. Fuente: iagua

Los gases de efecto invernadero son el Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Compuestos halogenados, Ozono troposférico, Óxido de nitrógeno. Se provocan principalmente por la quema de combustible fósiles para generar electricidad, el transporte, la calefacción, la industria y la edificación. También provocados por la ganadería, la agricultura (sobre todo el cultivo de arroz), el tratamiento de aguas residuales y los vertederos entre otros. A continuación, la Ilustración 1-2 Emisión de gases de efecto invernadero por sector. Fuente: Europarl nos muestra la emisión de gases de efecto invernadero por sector.

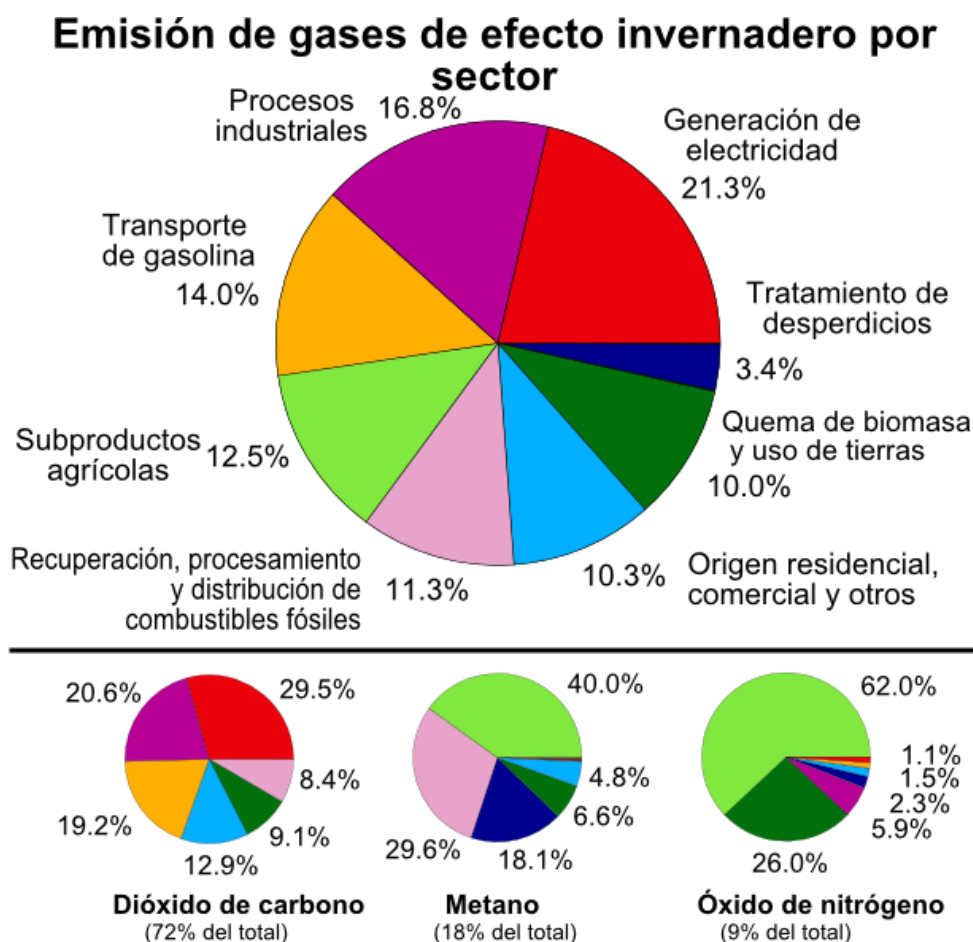


Ilustración 1-2 Emisión de gases de efecto invernadero por sector. Fuente: Europarl

1.1.1.2 Aumento exponencial de la población.

El número de habitantes del planeta ha crecido exponencialmente. Actualmente somos más de 7.700 millones de personas y seguiremos creciendo hasta 2050 al menos 2.000 millones más. Al ser una población cada vez más numerosa, necesitamos cada vez más recursos, que provoca la aceleración del aumento de la emisión de gases de efecto invernadero en todos los procesos de producción.

1.1.1.3 Destrucción de ecosistemas terrestres y deforestación.

Los bosques y selvas tropicales desaparecen a velocidades muy altas. En los últimos 10 años, se han destruido 13 millones de hectáreas. Los bosques son sumideros naturales de carbono que mediante la fotosíntesis absorben CO₂ y devuelven oxígeno a la atmósfera.

1.1.1.4 Destrucción de ecosistemas marinos.

Los océanos también son sumideros de carbono, absorbiendo hasta el 50% del CO₂ generado. Además de su destrucción, el problema es que cuando alcanzan su límite, el océano se acidifica y se producen muertes y enfermedades de la flora y la fauna marina.

Los efectos del calentamiento global incluyen efectos ambientales, sociales, económicos y de salud. Algunos ya se observan y otros se esperan a corto plazo. Algunos pueden tener consecuencias positivas, pero la mayoría son adversos.

Los efectos ambientales incluyen la subida de la temperatura oceánica, la acidificación del océano, el retroceso de los glaciares, el deshielo ártico, la subida del nivel del mar, una posible parada de la circulación oceánica, extinciones masivas, desertificación, fenómenos meteorológicos extremos, cambios climáticos abruptos y efectos a largo plazo.

Los efectos económicos y sociales incluyen cambios en la productividad agrícola, expansión de enfermedades, inundaciones, impacto sobre pueblos indígenas, migraciones ambientales y guerras climáticas.

Los efectos futuros del cambio climático variarán dependiendo de las políticas de cambio climático y el desarrollo social. Las dos principales políticas para enfrentar el cambio climático son la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la adaptación a sus efectos.

1.1.2 Adaptación al cambio climático

En España se aprobó en el 2006 el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), que será el instrumento de planificación básico para promover la acción coordinada y coherente frente a los efectos del cambio climático. Desde su aprobación, el PNACC se ha desarrollado mediante programas de trabajo que concretan las actividades a llevar a cabo en cada etapa. El primero se extendió entre 2006 y 2008 y el segundo entre 2009 y 2013. En la actualidad se encuentra en desarrollo el Tercer Programa, que abarca el periodo 2014-2020. Éste se ha estructurado siguiendo cuatro ejes estratégicos:

- Generalización y análisis de conocimiento en materia de impactos, vulnerabilidad y adaptación.
- Integración en la normativa de la adaptación al cambio climático.
- Movilización de actores clave en los sectores incluidos en el Plan.
- Señales, evidencias e indicadores de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático

El esquema incluye dos pilares complementarios:

- Coordinación administrativa
- Refuerzo de la I+D+I

Éstos reconocen la existencia de diversas escalas territoriales y ámbitos sectoriales en los que las administraciones públicas deben actuar de forma coordinada y el papel de la investigación y la innovación en el desarrollo de las políticas de adaptación.

- En 2019 se inició el proceso de elaboración de un nuevo Plan (PNACC-2) (3), que definirá objetivos, criterios, ámbitos de aplicación y medidas para fomentar la resiliencia y la adaptación frente al cambio climático en España para el periodo 2011-2030 (3). Los objetivos generales incluyen: Ofrecer una serie de herramientas para facilitar la exploración de futuros escenarios climáticos.
- Promover las evaluaciones de impactos y riesgos derivados del cambio climático y la identificación de medidas de adaptación para minimizarlos.
- Impulsar el acceso al conocimiento disponible sobre los impactos y riesgos derivados del cambio climático y sobre las medidas de mitigación y adaptación orientadas a limitarlos, facilitando la formación y la capacitación en la materia.
- Continuar impulsando la integración de la adaptación al cambio climático en la normativa y planificación de los diferentes ámbitos de la gestión pública y privada.
- Facilitar la coordinación de acciones entre las diferentes administraciones públicas (nacional, autonómica y local), promoviendo la complementariedad y el uso eficiente de los recursos públicos.
- Fomentar la implicación activa de la sociedad española y movilizar a los actores clave en el desarrollo de respuestas adaptativas frente al cambio climático.

Por otro lado, el nuevo PNACC-2 (4) en desarrollo:

- Integrará objetivos, compromisos y recomendaciones establecidos en el Acuerdo de París (2015) (5), en la evaluación de la Estrategia Europea de Adaptación (2018) y en el Reglamento de Gobernanza de Energía y Clima.
- Contemplará las recomendaciones que se derivan de la evaluación del PNACC-1 (3) finalizada en 2019.
- Proporcionará las directrices para su aplicación a través de dos programas de trabajo sucesivos (2021-2025 y 2026-2030), en los que se definirán en detalle las acciones a desarrollar.
- Contemplará más de medio centenar de medidas, definiendo indicadores de cumplimiento para cada una de ellas.
- Ampliará el campo de análisis y acción, considerando los impactos y la vulnerabilidad en España debidos a los efectos provocados por el cambio climático más allá de nuestras fronteras.
- Incorporará un apartado específico dedicado a la financiación.

Igual que en el primer Plan de Adaptación, el PNACC-2 definirá un conjunto de ámbitos de actuación en materia de adaptación, incluyendo entre ellos los relativos al sistema energético. En este campo, se actuará sobre los riesgos que afectan a los diversos componentes del sistema energético:

- Suministro de energía primaria
- Generación de electricidad
- Transporte, almacenamiento y distribución de la energía
- Demanda de energía eléctrica

A continuación, la Tabla 1-1 Riesgos del cambio climático y medidas preventivas. Fuente: PNIEC nos muestra una serie de riesgos derivados del cambio climático y algunas de las medidas previstas para abordarlos:

Tabla 1-1 Riesgos del cambio climático y medidas preventivas. Fuente: PNIEC

Componente	Amenazas clave	Medidas PNACC-2
Suministro de energía primaria	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la producción hidroeléctrica. - Reducción de la productividad de los cultivos agrícolas y forestales orientados a la producción de biomasa. - Daños a las infraestructuras de suministro 	<ul style="list-style-type: none"> - Estimación del impacto del cambio climático en los potenciales de producción de energías renovables. - Integración de las proyecciones relativas al potencial hidroeléctrico en la planificación

	energético derivados de eventos extremos.	de la transición energética. - Integración de las proyecciones relativas al potencial de producción de biomasa en la planificación de la transición energética. - Identificación de infraestructuras altamente vulnerables e impulso de programas específicos de adaptación.
Generación de electricidad	<ul style="list-style-type: none"> - Menor eficiencia en las plantas termoeléctricas por disminución de los caudales y aumento de la temperatura del agua de refrigeración. - Cortes de agua para refrigeración de centrales térmicas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estimación de los impactos potenciales asociados al cambio del clima y análisis de medidas de adaptación
Transporte, almacenamiento y distribución	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la eficiencia de las líneas de transporte y distribución eléctrica debido al calor. - Daños a las infraestructuras de los sistemas eléctricos, gasistas o derivados del petróleo como consecuencia 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis del impacto del cambio climático en la funcionalidad y resiliencia de las redes de transporte y distribución de electricidad y definición de medidas de adaptación. - Identificación de infraestructuras energéticas

	<p>de eventos extremos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vulnerabilidad de terminales de GNL, gas convencional y refinerías situadas en áreas costeras, debido a tormentas, tempestades e incremento del nivel del mar. - Reducción del producible disponible para el bombeo mixto. - Disminución del rendimiento de las baterías por incremento de la temperatura ambiente. 	<p>altamente vulnerables a los eventos extremos e impulso a programas específicos de adaptación.</p>
Demanda de energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de los picos de demanda de electricidad asociado a necesidades de refrigeración. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estimación del impacto del cambio climático en la demanda de electricidad.

En la Tabla 1-2, se aportan algunos ejemplos de la relación del sistema energético y algunos recursos vulnerables ante el cambio climático:

Tabla 1-2 Relación sistema energético y recursos vulnerables al cambio climático. Fuente: PNIEC

Agua	<ul style="list-style-type: none"> - El régimen de caudales fluviales condiciona la producción hidroeléctrica. - El agua es un recurso clave en procesos de refrigeración de las plantas térmicas y nucleares.
-------------	--

	<ul style="list-style-type: none"> - El agua es un recurso utilizado en la producción solar termoeléctrica en el ciclo termodinámico, así como para la limpieza de los espejos. - El cultivo de biocombustible requiere el uso del agua. - El agua es necesaria en el proceso de obtención de hidrógeno. - La industria extractiva y minería utiliza agua. - Se experimenta un incremento de la temperatura del agua por la descarga de caudales procedentes de la refrigeración de centrales térmicas.
Sector forestal	<ul style="list-style-type: none"> - La principal fuente de producción de biomasa es el sector forestal cuyo rendimiento depende estrechamente de una buena adecuación de las masas forestales a las condiciones climáticas.
Costas	<ul style="list-style-type: none"> - Una parte de las infraestructuras energéticas estratégicas se ubican en zonas costeras, tales como los parques eólicos marinos y las infraestructuras de evacuación eléctrica asociadas.
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> - Las infraestructuras portuarias, cuya operatividad está condicionada por factores relacionados con el tiempo meteorológico y el clima, desempeñan un papel esencial en la importación de productos energéticos.

<p>Tierra</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de la tierra para tecnologías renovables, como solar fotovoltaica, cultivos energéticos para producción de biocombustible. - Minería a cielo abierto y cerrado para la obtención de combustibles fósiles. - Perforaciones y uso del suelo para la extracción de hidrocarburos.
----------------------	--

Como consecuencia, las acciones de adaptación inciden sobre los niveles de resiliencia del sistema energético español ante el cambio climático.

Respecto a la temática de este trabajo cabe destacar que el sector de la minería se verá afectado por las políticas actuales y futuras para afrontar el cambio climático. De manera positiva, se verá afectado por la necesidad de nuevas materias primas necesarias para el desarrollo de dispositivos que permitan la electrificación de la economía. De manera negativa, se verá afectado debido a que las políticas medio ambientales limitarán los usos del suelo y del agua.

1.2 SECTOR MINERO EN ESPAÑA

La industria extractiva juega un papel importante como suministrador al resto de la industria de muchas materias primas básicas para la sociedad, de forma que las dificultades del suministro pueden afectar al funcionamiento de la actividad industrial. La Unión Europea ha desarrollado desde 2008 la Iniciativa de Materias Primas con el objetivo de garantizar el acceso a estas materias primas, fomentar su obtención de fuentes europeas y aumentar la eficiencia en el uso de los recursos, potenciando el reciclaje. En 2014, se definió el Plan de Acción para la Economía Circular (6) para potenciar el reciclado y la valorización de los residuos con el doble objeto de que los materiales y los recursos se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible y que se reduzca al mínimo la generación de residuos. Y en 2017 se lanzó la Alianza Europea por las baterías con el objetivo de crear una cadena de valor completa en torno a las baterías para evitar la dependencia tecnológica de otros países y aprovechar las oportunidades en términos de empleo, crecimiento e inversión que ofrece este sector.

La descarbonización de la economía requiere del acceso a nuevos tipos de recursos minerales esenciales para su electrificación, para el desarrollo de las energías renovables y más limpias y de tecnologías ecoeficientes. Mediante la explotación sostenible de yacimientos de los más de 70 minerales y rocas que se pueden encontrar en España, será posible la fabricación de baterías para vehículo eléctrico o la digitalización de la economía. Además, un suministro de proximidad permitirá reducir las necesidades de transporte, limitando las emisiones y los impactos correspondientes a esa escala global.

1.2.1 Minería en España

En 2018 la contribución del sector minero en España fue de 29.890 empleos, de los cuales 22.869 correspondieron a la extracción de minerales no metálicos (industriales, ornamentales, productos de cantera), 1.897 a minerales energéticos y 5.124 a minerales metálicos.

El número de explotaciones ha descendido ligeramente, sin embargo, el empleo ha aumentado de forma muy leve, 0,8% respecto a 2017.

El valor de la producción vendible para el conjunto del sector minero fue de 3.485 M€, un 6% superior al de 2017, pese al descenso en la producción de minerales energéticos.

En la Tabla 1-3 Número de explotaciones y valor de la producción en M€ por sectores. Fuente: IDAE, se desglosa el número de explotaciones y valor de la producción (en M€) por sectores:

Tabla 1-3 Número de explotaciones y valor de la producción en M€ por sectores. Fuente: IDAE

SECTORES	2018	2017	2018	2017
Productos energéticos	20	25	152	167
Minerales metálicos	8	8	1.218	1.667
Minerales industriales	182	177	851	726
Rocas ornamentales	471	492	387	394
Productos de cantera	2.050	2.057	876	826
Total	2.731	2.759	3.485	3.280

Se muestra en la Tabla 1-4 el número de empleos por sectores; entre paréntesis se indica el empleo femenino (F):

Tabla 1-4 Número de explotaciones y valor de la producción en M€ por sectores. Fuente: IDAE

SECTORES	PROPIO		CONTRATA		PROPIO		CONTRATA	
	(F)		(F)		(F)		(F)	
Productos energéticos	1.323	133	574	8	1.745	161	795	9
Minerales metálicos	2.028	319	3.096	257	1.959	337	2.702	231
Minerales industriales	3.053	286	1.200	33	2.962	260	1.286	37
Rocas ornamentales	4.795	471	730	56	4.809	445	769	54
Productos de cantera	9.110	716	3.981	184	8.927	656	3.686	169
Total	20.309	1.925	9.581	538	20.402	1.859	9.238	500

Los productos de la minería a los que hacen referencia las tablas anteriores son:

- Productos energéticos: Antracita, hulla, hulla subituminosa, crudos de petróleo y gas natural.
- Minerales metálicos: Cobre, cinc, estaño, tántalo, oro, plata, plomo y wolframio.
- Minerales industriales: Incluyen gran variedad de minerales, destacando bentonita, caolín lavado, cuarzo, feldespato, glauberita, magnesita, potasa, sal marina, sal gema y sepiolita.
- Rocas ornamentales: Alabastro, arenisca, caliza, cuarcita, granito, mármol y pizarra.
- Productos de cantera: Entre los que destacan arcilla, arena y grava, arena silíceas, caliza, cuarcita, dolomía, granito, margas, ofitas y yeso.

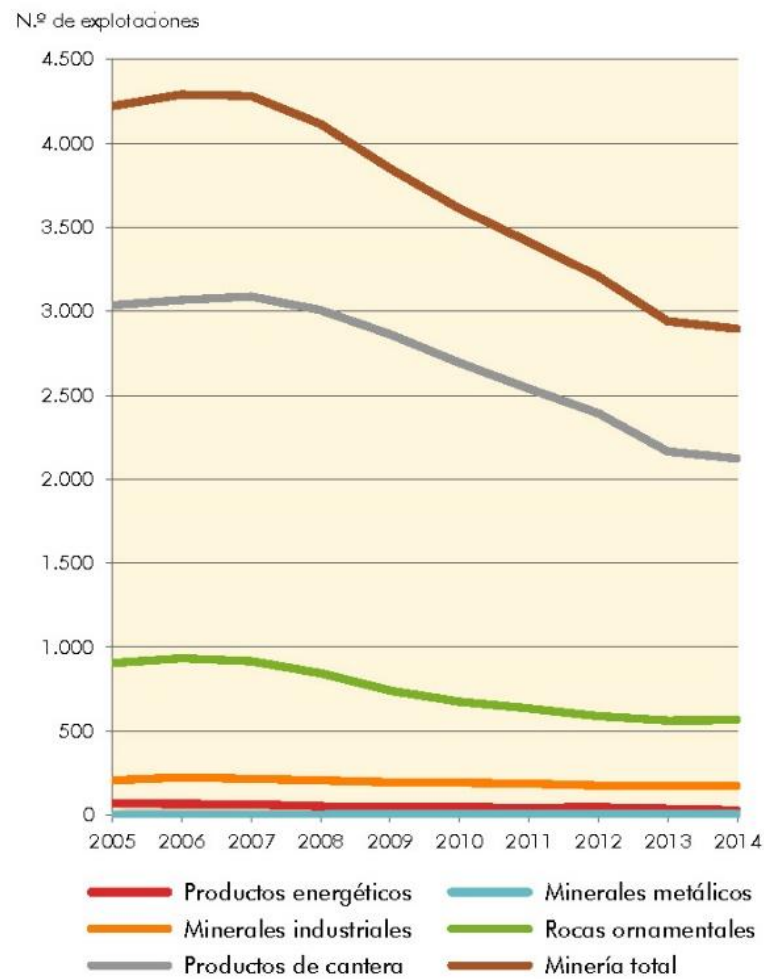
La distribución del valor de la producción por Comunidades Autónomas, se muestra en la Tabla 1-5 (en porcentaje sobre el valor total):

Tabla 1-5 Distribución del valor de la producción por Comunidades Autónomas. Fuente: IDAE

COMUNIDAD AUTÓNOMA	PORCENTAJE	PRINCIPALES EXTRACCIONES
Andalucía	38,6	Cobre, plomo, cinc, plata, yeso, mármol
Cataluña	13	Hidrocarburos, potasa, rocas industriales
Castilla y León	9,9	Hulla, antracita, pizarra, glauquerita, wolframio
Galicia	7,3	Caolín, cuarzo, pizarra, granito
Asturias	4,9	Hulla, antracita, fluorita, oro
Aragón	4,8	Hulla subbituminosa, caolín, arcilla refractaria
Castilla La Mancha	3,9	Sepiolita, bentonita, thenardita
Madrid	4,3	Glauberita, sepiolita, granito, yeso
Comunidad Valenciana	3,8	Sal marina, caolín, mármol
Murcia	1,9	Mármol, sal
País Vasco	1,7	Caliza
Navarra	1,3	Caliza, magnesita
Extremadura	1,2	Granito
Baleares	1,1	Arenisca, caliza
Cantabria	0,8	Sal gema, caliza
La Rioja	0,8	Gas natural, ofita, caliza
Canarias	0,6	Rocas industriales
Ceuta	0,01	Caliza

La minería nacional ha mantenido una evolución positiva, exceptuando el caso del carbón, ante el cierre anunciado para finales del 2018.

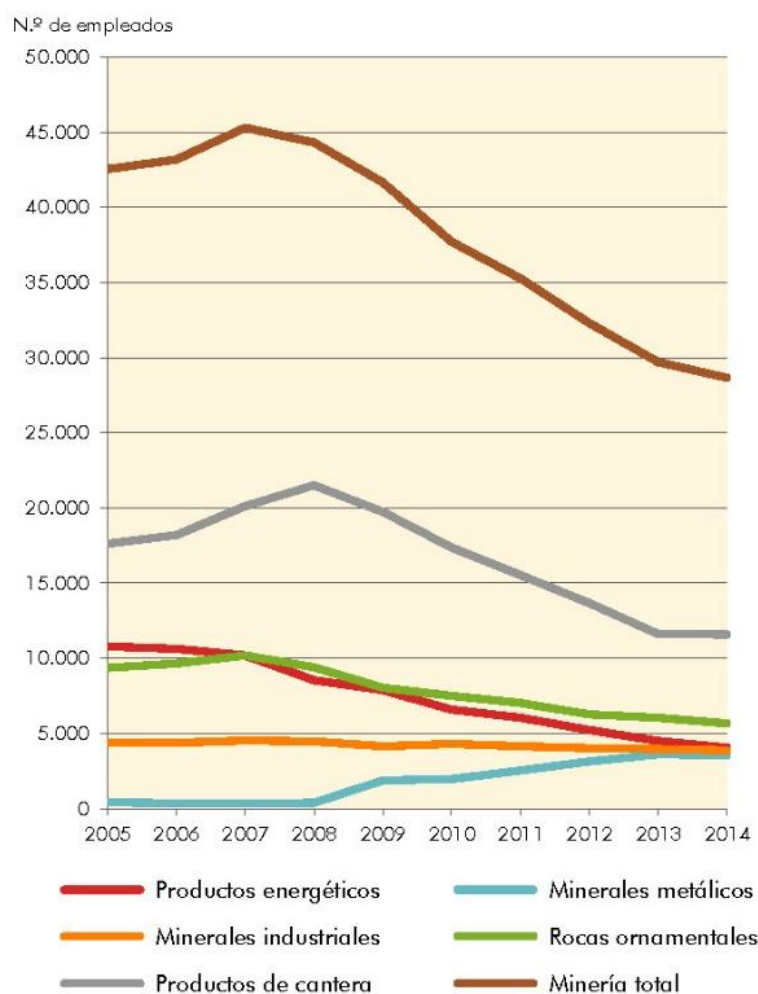
Hoy muchas cuencas mantienen su actividad y otras están clausuradas. Algunas han valorizado su patrimonio para ponerlo al servicio de las dinámicas de revitalización socioeconómica a través del turismo, como las minas de Almadén que, transformadas en parque minero, han sido incluidas en 2012 en la Lista del Patrimonio Mundial Unesco. Las siguientes tablas (Ilustración 1-3 e Ilustración 1-4) muestran la evolución del número de explotaciones mineras, así como la evolución del empleo minero.



Fuente: Estadística Minera de España 2014. MINETAD

Elaborado por: Instituto Geográfico Nacional. Atlas Nacional de España

Ilustración 1-3 Evolución del número de explotaciones mineras. Fuente: Estadística Minera de España



Fuente: Estadística Minera de España 2014. MINETAD

Elaborado por: Instituto Geográfico Nacional. Atlas Nacional de España

Ilustración 1-4 Evolución del número de explotaciones mineras. Fuente: Estadística Minera de España

La minería se considera un sector estratégico y, a pesar de los recursos que existen, no consigue abastecer la demanda de sectores como el de la producción de energía... Su contribución al PIB nacional ha disminuido desde los años ochenta y representa hoy en día en torno al 0,7%. Aun así, la Estadística Minera de España (7) correspondiente al último dato oficial (2014), afirma que España es el octavo productor de carbón, el tercero de cobre, uno de los cuatro únicos productores de níquel, el único productor de sepiolita, el primer productor de espato-flúor, el segundo productor de yeso, de magnesita y de sales potásicas y el sexto de bentonita. Destaca también, en la producción de rocas ornamentales, especialmente pizarra (7)

Entre las iniciativas para la reducción de emisiones se logra un acuerdo del sector del carbón (8) entre el Gobierno, sindicatos y representantes del sector. Su objetivo es favorecer una transición justa de la minería del carbón y promover el desarrollo sostenible de las regiones mineras durante el período 2019-2027. Este acuerdo responde a las repercusiones sociales derivadas del cumplimiento de la Decisión del Consejo Europeo, que obliga al cierre de las minas de carbón en territorio comunitario o, de lo contrario, a devolver las ayudas estatales recibidas en el periodo 2011-2018.

En la siguiente imagen (Ilustración 1-5), podemos ver el impacto que tuvo en el PIB, en millones de euros.

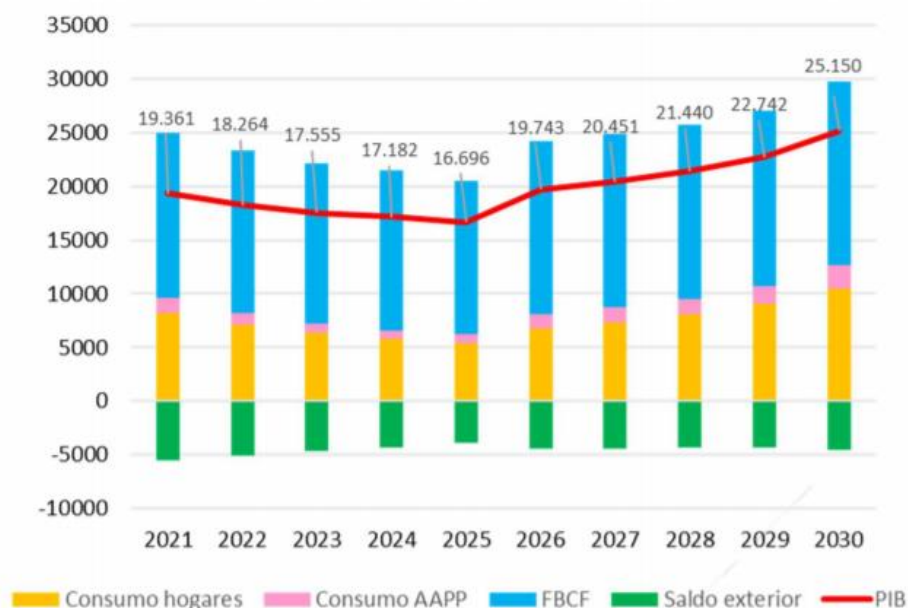


Ilustración 1-5 Impacto en el PIB (M€). Fuente: IGNE

Hay que destacar un aumento neto en todos los grandes sectores, con la única excepción del sector de la minería.

Esta figura recoge los empleos netos generados por grandes sectores. Al igual que en el caso del PIB, el empleo neto es positivo, salvo en el caso del sector de la minería. Podemos observar en la Ilustración 1-6, el impacto en el empleo por sectores (miles personas/año).



Ilustración 1-6 Impacto en el empleo por sectores (miles personas/año). Fuente: IGNE

Debido al actual y futuro descenso de la actividad minera del carbón, el Gobierno y el sector de la minería del carbón firmaron en 2018 un acuerdo para la transición justa y el desarrollo sostenible de las comarcas mineras (8). Dentro de las medidas planteadas para las comarcas afectadas por el cierre de las instalaciones mineras se plantea el Plan de Desarrollo de Energías Renovables y Eficiencia Energética 2018-2023 para los territorios destinados del plan de acción urgente. Por lo tanto, la valorización de las minas clausuradas para su utilización como sistemas de generación mediante energías renovables puede permitir a las zonas afectadas transformar el sector minero en un sector estratégico.

1.3 APROVECHAMIENTO DE MINAS ABANDONADAS

1.3.1 Restauración de una mina

El ciclo minero no se acaba con la extracción del mineral. Toda mina abierta en España después de 1982 debe contar con un Plan de Restauración que asegure su cumplimiento antes de iniciar los trabajos de aprovechamiento.

La legislación obliga a:

- Disponer de un proyecto de restauración de los terrenos aprobado por la autoridad competente,
- Depositar ante la administración un aval que garantice la ejecución del proyecto. En caso de incumplimiento del proyecto de restauración, la autoridad competente puede ejecutar dicho aval para garantizar los trabajos de restauración previsto.
- El cierre de una mina puede durar años, ya que se necesita realizar un desmantelamiento de todas las infraestructuras. Habría que planificarlo con anticipación, desde que comienzan las actividades mineras para evitar que queden sitios contaminados.
- Al cerrar una mina, se deben realizar las acciones necesarias para que el espacio se revalorice y pueda tener otro uso posterior, ya sea igual que el que tenía anteriormente o superior.

1.3.2 Usos de antiguas minas

Para restaurar un espacio minero, es necesario decidir previamente qué uso se puede desarrollar en él. El espacio puede ser utilizado como:

- Urbanístico e industrial.
- Centros de tratamiento y valorización de residuos.
- Lagos de agua dulce.
- Terrenos de uso agroganadero.
- Montes de uso forestal y matadero.
- Zonas de conservación y creación de hábitats.

1.3.3 Actividades para el cierre de una mina

- Desmantelamiento. Se desmontan instalaciones y equipos. Se desechan los residuos y se recuperan herramientas o aceites.

- Rehabilitación. Se trata el suelo afectado por las actividades mineras, dejándolo lo más parecido posible a como estaba antes de la llegada de la mina.
- Post cierre. Algunas minas necesitan cuidados y mantenimiento después del cierre final: controlar la calidad del agua, revisar la seguridad y estabilidad de los terrenos... para poder prevenir situaciones de riesgo.

1.3.4 Almacenamiento de energía en pozos profundos de minas abandonadas

La empresa GRAVITRICITY ha descubierto la forma de aprovechar estas minas en el almacenamiento de energía, basándose en las turbinas bomba que vuelven a elevar el agua que ha producido la energía por caída desde el embalse.

El proceso consiste en disponer en la cabecera del pozo de un pescante capaz de elevar un peso elevado situado en el interior del pozo, de manera que con esa energía excedente lo sitúa en la parte superior. Cuando se precise una energía suplementaria en la red, el peso en caída libre, mueve el motor-generador produciendo prácticamente la misma cantidad de energía que se necesitó para elevarle desde el fondo del pozo. El rendimiento puede llegar hasta el 90% y la respuesta es instantánea, pudiendo ser completamente automatizada.

1.3.5 Aprovechamiento energético del agua de las minas

1.3.5.1 Energía geotérmica

El aprovechamiento del agua acumulada en las minas abandonadas, consiste en extraer energía geotérmica del líquido. Existen para proveer de agua caliente (en calefacciones) y fría (en el aire acondicionado) a edificios de la vecindad. De esta forma se reduce hasta un 55% las emisiones de CO₂.

El agua que extraemos debe ser depurada primero, para después poder llevarla hasta los edificios.

La nueva infraestructura subterránea se va creando a medida que avanza el proyecto, que sólo puede funcionar ubicado a una distancia prudente de las viviendas y las minas mismas. El suministro ciudadano de calefacción no puede cortarse, y, en caso de avería, es preciso disponer de un sistema adicional de tipo convencional.

Los municipios de Zagorje (Eslovenia), Czeladz (Polonia) y Bourgas (Bulgaria), están probando sistemas similares.

El aprovechamiento de agua caliente en minas abandonadas en Heerlen ha recibido el premio a la mejor innovación geotérmica europea en el congreso celebrado en Alemania. Los recursos geotérmicos de que dispone Heerlen desde el cierre de las minas son un buen ejemplo de la reutilización de viejas minas abandonadas. En este proyecto se transfiere o intercambia el calor “almacenado” en las minas a 700 metros de profundidad, donde el agua se encuentra a 28°C. Mediante una red de tres tuberías de longitud el calor se transfiere a una estación situada en el centro urbano para su distribución y gestión inteligente a más de 52.000 metros cuadrados de edificios institucionales, viviendas, supermercados, oficinas y otros nuevos edificios en construcción. Se adjunta a continuación una imagen (Ilustración 1-7) donde se puede observar el esquema de aprovechamiento geotérmico del agua de minas abandonadas en Holanda.

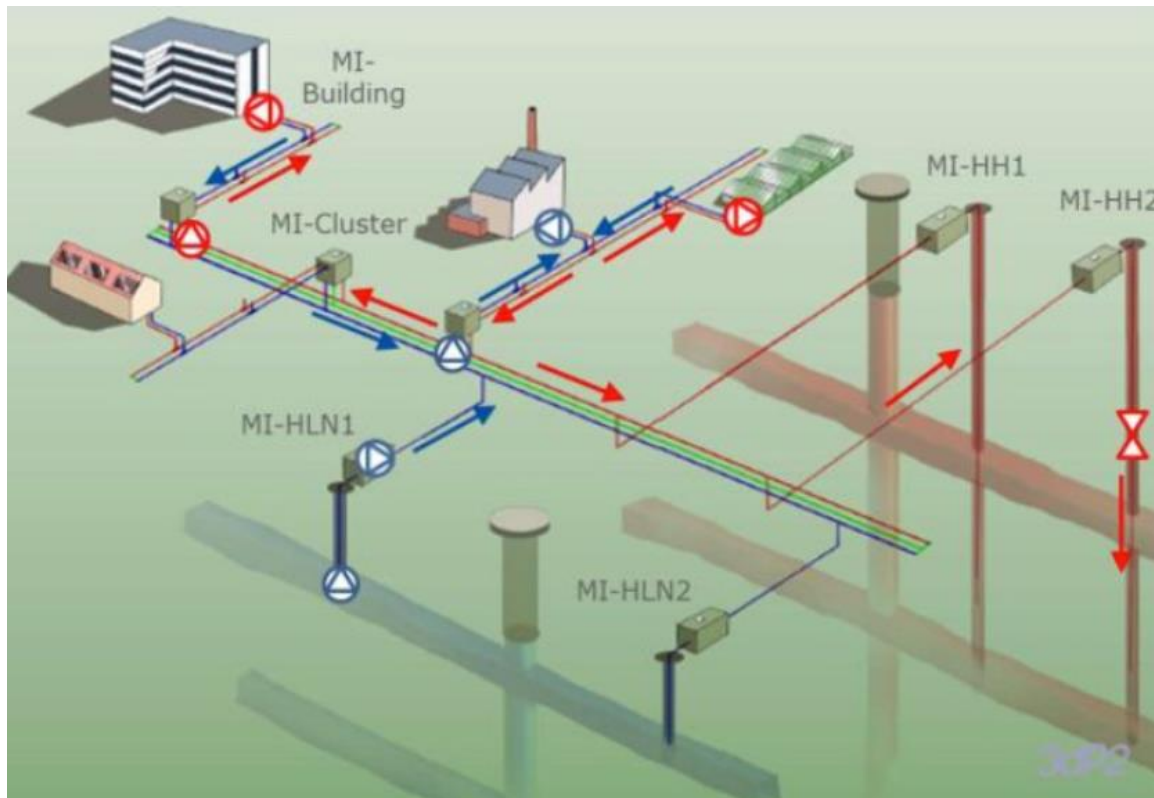


Ilustración 1-7 Esquema aprovechamiento geotérmico del agua de minas abandonadas en Holanda. Fuente: geotermiaonline

En España ya existe una instalación similar, a menor escala en Mieres (Asturias). Hunosa puso en marcha el aprovechamiento del agua que ya no se bombea de las minas próximas al municipio para proveer de agua caliente al Hospital Álvarez Buylla, a edificios del campus universitario, a la Fundación Asturiana de la Energía, al I.E.S. Bernaldo Quirós, 2 edificios de viviendas y la Escuela Politécnica de Mieres. Hunosa sigue ampliando la posibilidad de expandir el aprovechamiento geotérmico en las cuencas mineras de Asturias, por lo que ha realizado una modelización hidrogeofísica para estudios del aprovechamiento de este tipo de calor que nace del subsuelo. Este estudio deberá servir para calcular las distribuciones de las variables de estado que afectan a los flujos de fluidos, así como la distribución de las temperaturas asociadas. El mapa comprenderá un análisis de la situación del subsuelo, en cuanto al aprovechamiento geotérmico se refiere, de hasta más de mil metros de profundidad. El objetivo de Hunosa con este estudio es llevar a cabo modelos numéricos de flujo y transporte de calor en las explotaciones mineras de las zonas indicadas que integren adecuadamente todos los datos relevantes, así como calibrar los datos obtenidos.

1.3.5.2 Energía eléctrica

En Mieres se presentó una iniciativa, por parte de Hunosa, para sacar rendimiento a las galerías de los pozos mineros que ya no tienen actividad. Esta propuesta consiste en canalizar el agua de estas galerías para generar energía hidroeléctrica. Se indicó que la propuesta de las minicentrales de bombeo en las minas es una idea que se puede desarrollar en un corto periodo de tiempo. Estas galerías sin actividad ya están siendo aprovechadas por Hunosa para aprovechar energía geotérmica.

1.4 DISTRICT HEATING

La Calefacción Urbana, o District Heating en inglés, no es muy conocida, pero todos hemos visto las típicas películas ambientadas en Nueva York, donde en invierno vemos salir una niebla de algunas alcantarillas o salidas de túneles debajo de las calles. Eso es un sistema de suministro de agua caliente sanitaria y calefacción (y en algunos casos también refrigeración), en la cual el calor o energía térmica es producido en una central (como una gran fábrica de calor) y se distribuye por una red de tuberías urbana, del mismo modo en que se hace con el resto de servicios que utilizamos en nuestras viviendas, es decir, el gas, el agua, la electricidad o las telecomunicaciones.

1.4.1 Orígenes del District Heating

La primera vez que se utilizó un sistema básico de calefacción urbana fue en la época romana.

Ya en la Edad Media se construyó un sistema de distribución de agua caliente urbana, construido a base de troncos huecos de madera y que se realizó en el año 1332, en Francia, siendo la primera red de calefacción urbana que abastecía agua caliente a 30 viviendas.

En 1818 se utilizó nuevamente el principio de la energía geotérmica en la región italiana de Volterra. La técnica fue desarrollada para absorber los vapores de lodo volcánico utilizados para alimentar bombas de agua bóricas. En 1877 el primer sistema de calefacción de distrito exitoso fue introducido en Nueva York. El primer sistema moderno de calefacción geotérmica de distrito se desarrolló en 1930 en Reykjavik.

Tras la segunda Guerra, este sistema se dejó un poco de lado. Durante este periodo en Europa las redes de calefacción urbana se siguieron instalando. En los años 70, con la crisis del petróleo las redes urbanas de calefacción volvieron a recuperar la importancia que tenían, sobre todo en Estados Unidos, norte de Europa, Japón, China y Corea. Así, el desarrollo de la energía geotérmica fué estimulado por las dos crisis del petróleo en los años setenta.

1.4.2 Funcionamiento de un sistema District Heating

El sistema District Heating o calefacción urbana consta de los siguientes componentes:

- La central térmica. Se diseña para abastecer el total de la demanda de calefacción, refrigeración y de agua caliente sanitaria. El caso ideal es aprovechar la energía térmica residual de las centrales que ya funcionen, o crear centrales nuevas donde podamos aprovechar la energía térmica residual de la producción de electricidad. Lo habitual es que no estén dentro del núcleo urbano.
- La red de distribución. Permite la distribución de los fluidos. Está formada por tubos aislados para minimizar las pérdidas térmicas. La energía se transporta mediante agua hasta los usuarios, donde se cede el calor a los puntos de consumo enfriando el fluido (redes de calefacción), o se calienta el fluido absorbiendo calor de los puntos de consumo (redes de refrigeración).
- Las subestaciones de transmisión térmica en los edificios. Gracias a las que se realiza la transferencia térmica entre la red de distribución y los consumidores (edificios, viviendas...).

1.4.3 Ventajas del District Heating

Para la empresa:

- Reduce el coste de ejecución de la obra civil.
- Reduce el coste de ejecución de las instalaciones.

- Se disminuye el tiempo de instalación y montaje.
- Se posibilita al inversor a convertirse en productor eléctrico y/o proveedor de servicios energéticos.
- Permite disponer de más superficie útil en venta, ya que la sala de calderas no está en el edificio.
- Ayuda Pública con las acciones divulgativas, mejorando el impacto promocional y mejora la Imagen Corporativa.
- Acceder a subvenciones de las Administraciones Públicas cuando se promueven programas de Eficiencia Energética y/o Energías Renovables.
- Se contribuye a la Responsabilidad Social

Para el usuario:

- Se reducen los ruidos de las instalaciones en los edificios.
- Se reduce el coste de explotación y mantenimiento de la instalación.
- Los consumidores pueden acceder a mejores tarifas de combustible.
- Evitan los problemas asociados al bajo rendimiento en las calderas antiguas.
- No se tiene que manipular ni almacenar combustible en el edificio.
- Se reducen o se anulan las revisiones periódicas a las instalaciones térmicas.

Para el medio ambiente:

- Posibilita el uso de biomasa y geotermia.
- Mejora la eficiencia energética de la instalación.
- Reduce las emisiones de CO₂ y Gases de Efecto Invernadero.
- Se posibilita además la cogeneración.
- Mejora la eficiencia energética global.

1.4.4 Casos de District Heating en el mundo y España

La primera instalación de Calefacción Urbana, se ejecuta en el 1977 en EEUU, y continuó en el mismo país en los siguientes años en ciudades como Boston, Denver, y en 1882, tiene lugar la creación del sistema de vapor en Manhattan (Nueva York). En 1900 el primer sistema es construido en Alemania. Hoy en día hay en Europa instalados más de 70.000 km de tuberías en redes de calefacción.

El primer ejemplo lo tenemos en Suecia. Fue el primer país en instalar una red de calor alimentada con energía solar en la década de los 70. Actualmente este país goza de 22 complejos solares de este tipo, pero es Dinamarca el país que dispone de la mayor instalación que alimenta un sistema de calefacción urbana, se trata de la red urbana de la ciudad de Marstal que tiene una superficie de 18.300 m². También en Dinamarca encontramos la ciudad de Odense, donde se estableció la primera red de calefacción en 1920, habiendo evolucionado hasta la actualidad.

Otro caso a destacar es el de Berlín, donde se dispone de una red de calefacción que actualmente dispone de más de 529 km de conducciones. Otro ejemplo es el de París. París posee la red más extensa de Europa para el suministro de calefacción mediante vapor a una temperatura de 280°C. Tiene una longitud de tuberías de 335 km, dando servicio a más de un millón de habitantes. En Arbesthal, Austria, encontramos un otro ejemplo. La planta da servicio a 108 viviendas en el centro de la localidad, con una red de 4,5 km de longitud. Otro caso en Francia es el de Corte (Córcega), donde la central de

calefacción ofrece servicio a 14 edificios públicos. En Italia tenemos la instalación de Ferrar, en la Toscana, que cuenta con un sistema de calefacción alimentado por fuentes geotermales que suministra a 12.000 usuarios a través de una red de 12 km de longitud.

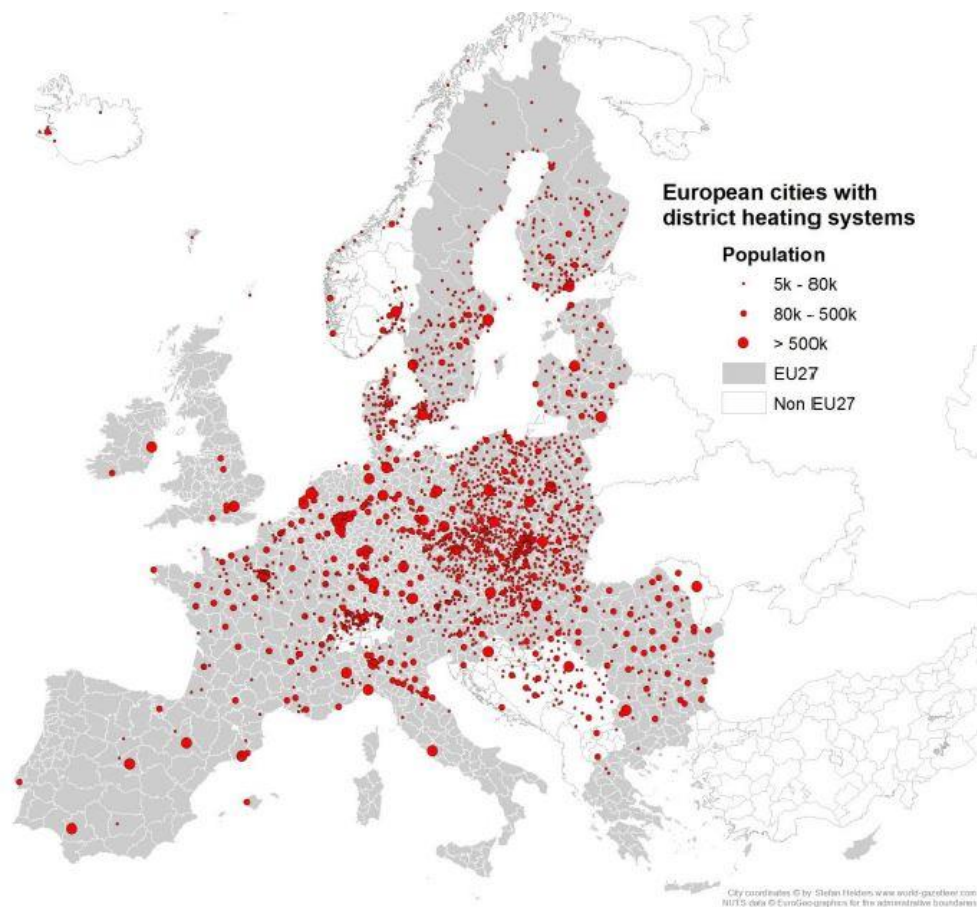


Ilustración 1-8 Ciudades europeas con sistemas de D.H. Fuente: UDIMA

En la Ilustración 1-8 se pueden ver las ciudades europeas de más de 5.000 habitantes que en el año 2011 tenían algún sistema de calefacción o enfriamiento urbano o colectivo. Cabe destacar que, en muchos casos afectan a instalaciones más concretas y localizadas de una empresa o una institución, pero se consideran como sistemas de calefacción urbana porque afectan a diferentes edificios y tienen la estructura constructiva mencionada (central, red de distribución y subestaciones de transmisión térmica).

En nuestro país nos encontramos con las primeras instalaciones realizadas en la Ciudad Universitaria de Madrid en 1932, seguida por el Instituto de Ciencias de la Construcción en Madrid en 1948. En el año 1952 la Empresa Siderúrgica, ENSIDESA en Avilés, instala un sistema de calefacción urbana para sus instalaciones, y la empresa automovilística SEAT lo hace en sus instalaciones de la Zona Franca para la calefacción del comedor de los empleados en 1954. Otros ejemplos más recientes los encontramos en Universidad Pública de Navarra (Pamplona) y en los Recintos Feriales de Madrid (IFEMA) realizadas en el año 1990.

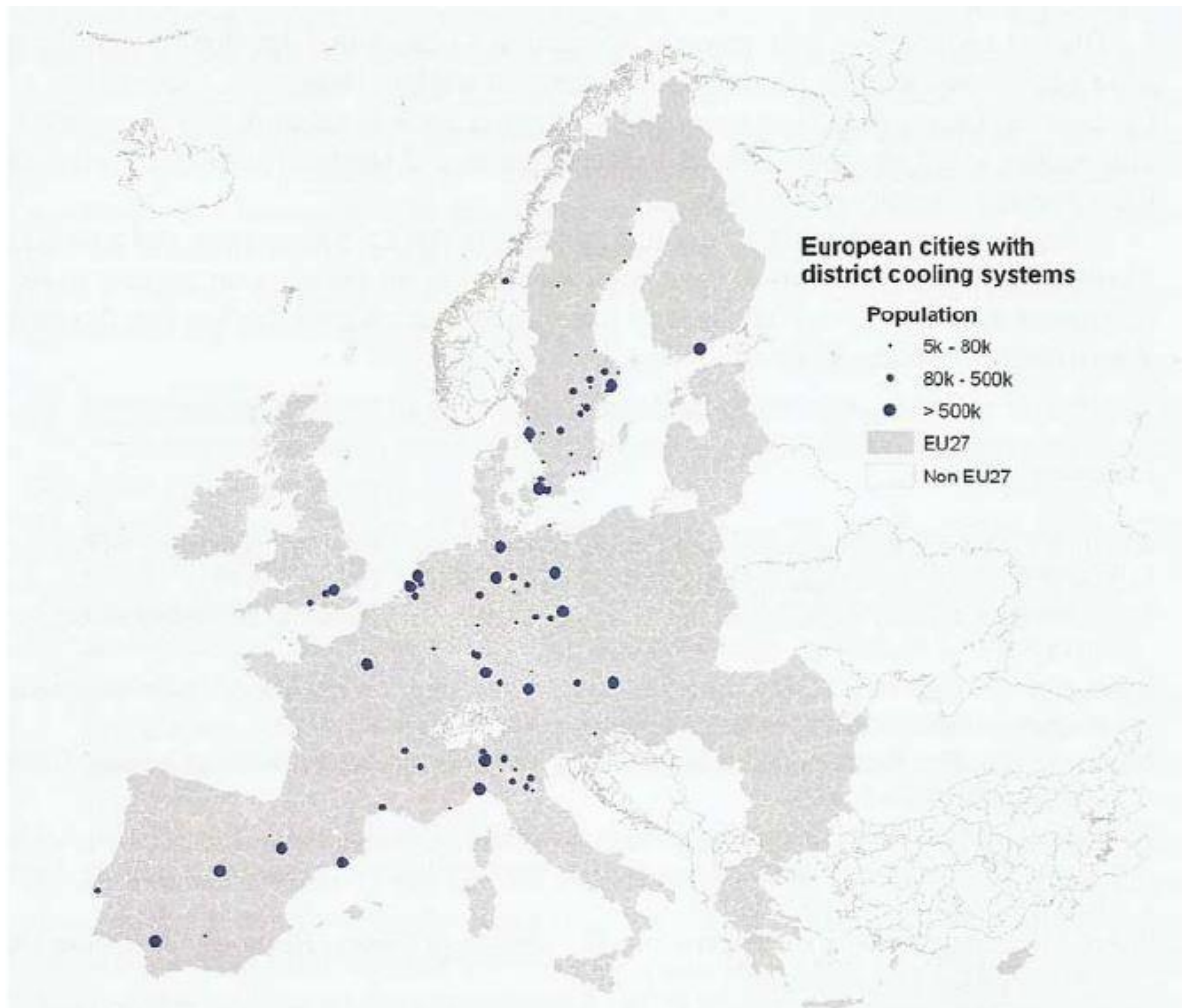


Ilustración 1-9 Ciudades Europeas de más de 5000 habitantes con sistemas de enfriamiento colectivo. Fuente: UDIM

En la Ilustración 1-9, podemos ver las ciudades europeas de más de 5.000 habitantes con sistemas de enfriamiento colectivo.

Como ejemplo de calefacción centralizada por biomasa se desarrolló en Cuéllar (Segovia), en 1999, que abastece un barrio de los años setenta que incluye bloques de pisos, un colegio, un polideportivo y un centro cultural. Actualmente son muy importantes los realizados en el Fórum District Heating y Barrio 220 (Barcelona) en el año 2004, y la Central Térmica construida para la Expo-Zaragoza de 2008, y en el mismo año la Central Térmica realizada para la Ciudad Agroalimentaria de Tudela (Navarra), y como ejemplos más recientes tenemos en 2017 la inauguración del District Heating más grande de España en Móstoles; y en el año 2011, la instalación de la Central Térmica en la Ciudad de la Justicia de Madrid y la Central Térmica Ciudad Medio Ambiente en Soria.

1.5 GEOTERMIA

La energía geotérmica obtiene, mediante el aprovechamiento del interior de la Tierra, energía que se transmite a través de los cuerpos de roca, dando origen a los sistemas geotérmicos.

El término “geotérmico” significa “calor de la Tierra”. El calor del interior de la Tierra aumenta con la profundidad. Las capas profundas están a temperaturas elevadas y, al ascender, el agua caliente o el vapor producen manifestaciones en la superficie, como los géiseres o las fuentes termales, utilizadas para baños desde la antigüedad.

1.5.1 Tipos de yacimientos geotérmicos:

1.5.1.1 De agua caliente

Pueden formar una fuente o ser subterráneos, contenidos en un acuífero. Dependiendo de la temperatura del agua puede usarse directamente o, si es muy caliente, aprovecharse enfriando el agua antes de utilizarla. En cuanto a los yacimientos subterráneos (aguas termales muy calientes a poca o media profundidad), sirven para aprovechar el calor del interior de la tierra. En la mayoría de los casos la explotación debe hacerse con dos pozos, de modo que por uno se obtiene el agua caliente y por otro se vuelve a inyectar en el acuífero, tras haber enfriado el caudal obtenido. Las ventajas son múltiples:

Menor probabilidad de agotar el yacimiento térmico.

No se agota el agua del yacimiento, puesto que la cantidad total se mantiene.

Las sales o emisiones de gases disueltos en el agua, al circular en circuito cerrado por las conducciones, evita contaminaciones.

Hay otros yacimientos en los que el agua sale en forma de vapor. El aprovechamiento en éstos es directo para obtener energía mecánica mediante una turbina y transformarlo en energía eléctrica. En este caso tienen es más complicado reinyectar el agua después de condensada, y en el camino habrán difundido en la atmósfera una parte de los gases que acompañan al vapor.

Clasificación según la temperatura del agua:

- La energía geotérmica de alta temperatura existe en zonas activas de la corteza. Está comprendida entre 150 y 400°C, se produce vapor en la superficie y mediante una turbina, genera electricidad.
- Energía geotérmica de temperaturas medias es aquella en que los fluidos de los acuíferos están entre 70 y 150°C. La conversión vapor-electricidad se realiza con un rendimiento menor, y debe explotarse por medio de un fluido volátil. Permiten explotar pequeñas centrales eléctricas, pero el mejor aprovechamiento puede hacerse mediante sistemas urbanos de reparto de calor para su uso en calefacción y en refrigeración.
- Energía geotérmica a baja temperatura. Aprovechable por ejemplo en todas las cuencas sedimentarias. Es debida al gradiente geotérmico. Los fluidos están a temperaturas de 50 a 70°C.
- La energía geotérmica de muy baja temperatura se considera cuando los fluidos se calientan a temperaturas comprendidas entre 20 y 50°C. Se utiliza para necesidades domésticas, urbanas o agrícolas, como la climatización geotérmica (bomba de calor geotérmica).

1.5.1.2 Yacimientos secos

Hay una zona bajo tierra, a profundidad no excesiva, con materiales o piedras calientes, en seco. Esto permite inyectar agua por una perforación y se recupera ya caliente por otra. Este calor es aprovechado por medio de un intercambiador y se vuelve a reinyectar como en el caso anterior.

1.5.2 Panorama actual de la energía geotérmica

Actualmente, el potencial de energía geotérmica bajo tierra equivale a 50.000 veces la energía que se obtiene de todos los recursos de gas y petróleo del mundo. Una de las principales ventajas de esta energía es que es limpia, y constituye una solución para la preocupación del calentamiento global, la polución ambiental, aumento en los precios de la energía fósil, etc.

Hoy en día, en EEUU de América, este tipo de energía constituye una operación de 1,5 billones de dólares al año, que se traducen en 2.000 MW de producción eléctrica, casi 1,750 MW de energía térmica utilizada para usos directos como calefacción, invernaderos, secado de alimentos... y más de 2.600 MW de energía térmica generada con bombas geotérmicas de calor. Este crecimiento permite hacer un cálculo para los próximos 10 a 15 años, y estimar que el mercado internacional para acrecentar el uso de la energía geotérmica podría superar los 25 billones de dólares

La energía geotérmica reduce el déficit comercial y crea fuentes de empleo en la economía de los EEUU. El informe de la Política Nacional de Energía cita la escasez de capacidad generadora de electricidad en los EEUU. Dentro de los próximos dos años podrían instalarse entre 100 y 300 megavatios adicionales de potencia generadora, mediante la incorporación de nuevas tecnologías auspiciadas por recursos federales, que funcionan en terrenos geotérmicos. En la mayoría de los estados occidentales de la Unión Americana los recursos geotérmicos son abundantes y podrían tener un impacto considerable para aliviar la escasez de potencia. La nueva generación de tecnología geotérmica promete duplicar la cantidad de recursos para la producción de electricidad durante los próximos 20 años.

El Programa de Tecnologías Geotérmicas del DOE (Departamento de Energía) (9), dirigió más de 40 proyectos en el año fiscal del 2002. Su objetivo es optimizar la tecnología (y disminuir los costos) para encontrar, acceder y producir recursos geotérmicos.

Las tres áreas principales de investigación son:

- Geociencia y tecnologías complementarias
- Exploración y perforación
- Investigación y ensayo de sistemas energéticos

La exploración y perforación están desarrollando tecnologías que reducen los precios de acceso a los recursos geotérmicos. La perforación y terminación de un pozo dan cuenta del 30 al 50% del costo capital de un proyecto de energía geotérmica, por lo que reducir estos costes es primordial para que compita con los combustibles convencionales.

Entre los logros recientes de las investigaciones de exploración y perforación se incluyen:

- Se demostró la capacidad de la espuma polyurethane para sellar y taponar las zonas de pérdida de circulación en pozos geotérmicos.
- Se creó una barrena de perforación compacta, de diamante de policristalino y chorro de circulación, que perfora formaciones medianamente duras un 30% más rápido que las barrenas tradicionales.
- Se comenzó un proyecto de colaboración con la industria para documentar y analizar gastos efectivos de perforación y geotermia.

1.5.2.1 Historia de la energía geotérmica

Las primeras civilizaciones (3.500 años antes de Cristo), apreciaban la práctica de los baños termales y la utilización de barros termominerales, pero fueron griegos y romanos los que dejaron ejemplos de aplicación de la energía geotérmica en la calefacción urbana y en las tradicionales termas y baños públicos, que se convirtieron en centros de ocio, salud y negocio.

Los romanos difundieron su uso por todo el imperio, extendiéndose con el paso del tiempo a Japón, América y Europa.

La extracción de azufre, travertinos, caolines, limonitas y óxidos de hierro también ha estado ligada tradicionalmente a las fuentes termales.

Durante mucho tiempo, el hombre se conformó con utilizar el calor que afloraba de forma natural en la superficie del planeta. A partir del siglo XIX, los avances técnicos y el mejor conocimiento del subsuelo permitieron buscar cada vez a mayor profundidad, y explotar cada vez mejor el calor de la Tierra.

En Francia, en 1883, se inició el primer sondeo profundo, un pozo de 548m de profundidad, que captó agua potable a 30°C en el acuífero de arenas albienses de la Cuenca de París. En EEUU la primera red local de calefacción urbana entró en funcionamiento en 1892 en Boise, Idaho.

En el siglo XX el empleo de la energía geotérmica se incrementa. La industria del ácido bórico dio paso en 1904 a la generación de electricidad a partir de vapor geotérmico, entrando en 1913 una central de 250 kW. Entre 1910 y 1940, el vapor de baja presión fue utilizado para calefacción de invernaderos, y de edificios industriales y residenciales.

En 1919 se perforaron los primeros pozos en Japón y en 1924 se instaló una planta experimental de 1 kW para producir energía eléctrica.

En 1921, en EEUU se perforaron dos pozos y se instaló una pequeña máquina de vapor que producía electricidad para un pequeño establecimiento termal.

En 1930 se instaló en Islandia la primera red moderna de calefacción urbana alimentada por energía geotérmica. Desde entonces, redes de calefacción que utilizan la energía geotérmica se encuentran en funcionamiento en Francia, Italia, Hungría, Rumanía, Rusia, Turquía, Georgia, China, EEUU y la propia Islandia, donde actualmente el 95% de los habitantes tienen calefacción por medio de una red de tuberías aisladas que transportan agua caliente.

En 1945 entró en funcionamiento la primera instalación con bomba de calor geotérmico en una vivienda en EEUU.

En 1947 ya se mostró los esquemas de los diferentes métodos de conexión de bombas de calor al terreno que siguen utilizando actualmente.

En 1948 entró en funcionamiento otra instalación en la Universidad del Estado de Ohio, y en 1948 se instaló otra en una casa experimental en la Universidad de Toronto.

En la década de los setenta se inicia una actividad de exploración e investigación de recursos geotérmicos para utilizarlos en la producción de energía eléctrica o para calefacción y agua caliente. A partir de esta década, aunque más pronunciadamente a partir de los noventa, el empleo de bombas de calor geotérmicas empieza a conocer un desarrollo prometedor a nivel internacional.

En menos de 15 años se ha llegado a más de un millón de instalaciones en América del Norte, EEUU y Canadá, pero también en países europeos como Suecia, Suiza, Alemania y Austria.

La capacidad geotermo-eléctrica a nivel mundial en el año 2000 era de 8.000 MW, pasando a 9.000 MW en el año 2005. Al igual que los usos eléctricos de la energía geotérmica, cuya capacidad instalada en 72 países era de unos 15.000 MW en el año 2000, pasando en el 2005 a alrededor de 28.000 MW en 72 países, de los cuales unos 15.000 MW correspondían a bombas de calor geotérmicas.

A continuación, la Ilustración 1-10 destaca los principales países productores de energía geotérmica.



Ilustración 1-10 Principales países productores de energía geotérmica. Fuente: Guía de la energía geotérmica

1.5.3 Recursos geotérmicos en España.

A continuación, se presenta una descripción de los recursos geotérmicos existentes en el subsuelo español. Para llevarla a cabo, se han clasificado los recursos en los siguientes grupos:

- Recursos de Muy Baja Temperatura ($T < 30^{\circ}\text{C}$)
- Recursos de Baja Temperatura ($30^{\circ}\text{C} < T < 100^{\circ}\text{C}$)
- Recursos de Media Temperatura ($100^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$)
- Recursos de Alta Temperatura ($T > 150^{\circ}\text{C}$)
- Recursos en Sistemas Geotérmicos Estimulados.

1.5.3.1 Recursos geotérmicos de Muy Baja Temperatura.

Existe en todo el ámbito territorial y se debe a la constancia de la temperatura del subsuelo a partir de los 8-10 metros. Se presenta bajo dos formas: energía térmica contenida en las rocas del subsuelo y energía térmica contenida en los acuíferos someros.

- Recursos geotérmicos contenidos en las rocas del subsuelo

Este recurso geotérmico de baja temperatura puede extraerse y utilizarse a través del empleo de la bomba de calor. La capacidad de extracción de calor depende mucho del tipo de roca contenida en el subsuelo y de la caracterización hidráulica de la zona

- Recursos geotérmicos contenidos en los acuíferos subterráneos

En este caso el que porta el calor es el agua subterránea que actúa como fuente de calor. Esta agua se extrae mediante bombas y se transporta hasta una bomba de calor que permite el calentamiento o refrigeración de un recinto.

1.5.3.2 Recursos geotérmicos de baja temperatura

Recursos cuyo rango de temperatura es de 30 a 100°C, se localiza a profundidades de 1.500 a 2.500 metros. La única condición geológica para su existencia, es la presencia a la profundidad adecuada -en función del gradiente geotérmico- de formaciones permeables -arenas, areniscas, conglomerado, calizas, dolomías, etc.- que permitan el almacenamiento y circulación del agua.

La utilización de los recursos de baja temperatura se centra en el uso directo del calor, especialmente en la climatización de recintos: residenciales, agrícolas o industriales.

1.5.3.3 Recursos geotérmicos de media temperatura

Son aquellos cuya temperatura se encuentra en el rango de 100-150°C. Se localizan a profundidades del orden de 3.500-4.000 metros, mientras que en áreas de gradiente geotérmico anómalo pueden encontrarse a profundidades del orden de 2.000 metros.

Su temperatura permite el uso para producción de electricidad mediante ciclos binarios y sistemas centralizados de calor -district heating- lo que permite mejorar el rendimiento económico de la explotación.

Existen áreas en las que es posible asignar potenciales recursos geotérmicos de media temperatura ya que la existencia de formaciones permeables a profundidades de 3.500-5.000 metros es factible y probable. Las más importantes se podrían localizar en las siguientes zonas:

- Grandes sinclinales del País Vasco y norte de Burgos y La Rioja.
- Área occidental de Prepirineo.
- Área norte de la cuenca de Madrid-Guadalajara.
- Área sur de la Depresión del Guadalquivir entre Sevilla y Cádiz.
- Área de Bética Interna en la provincia de Murcia y Sur de Alicante.

En la Ilustración 1-11 se puede observar la distribución de los recursos en España.

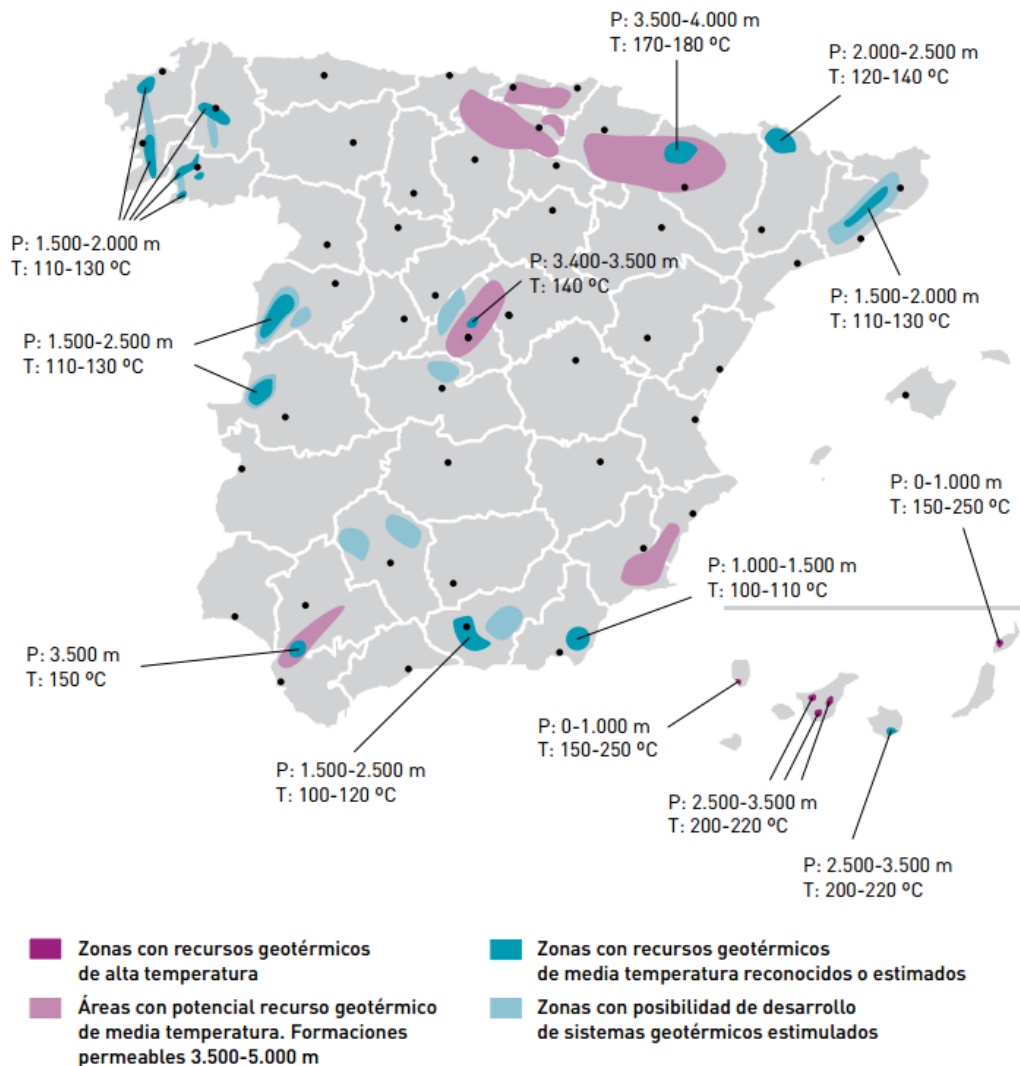


Ilustración 1-11 Distribución de recursos geotérmicos según temperatura. Fuente: IDAE

1.5.3.4 Recursos geotérmicos de alta temperatura

Se encuentran a profundidades muy variables de 1.500-3.000 metros.

La presencia de recursos geotérmicos de alta temperatura está ligada a la existencia de importantes anomalías de calor en áreas de elevada inestabilidad geológica. Esta inestabilidad se traduce en elevada actividad sísmica, formación de cordilleras y orógenos recientes, abundancia de manifestaciones termales y actividad volcánica o plutónica.

Parte de estos fenómenos geológicos tienen lugar en Las Islas Canarias.

El potencial energético en Lanzarote alcanza varios centenares de kilovatios, de difícil aprovechamiento en la práctica.

En el caso de Tenerife, la conclusión de los estudios realizados es la probabilidad de existencia de yacimientos de alta entalpía en diversas áreas de la isla, localizados en la Dorsal NE, zonas altas de Icod, zonas de Vilaflor. La temperatura estimada de estos recursos es superior a los 180°C, pudiendo alcanzar los 200-220°C.

Se confirma la presencia de yacimientos geotérmicos de alta temperatura en varios puntos de la isla. Sin embargo, no ha podido determinarse la profundidad y la permeabilidad de la formación almacén, que debe estar constituida por materiales volcánicos fracturados en el entorno del sistema de fracturas asociadas a la dorsal correspondiente.

En la Ilustración 1-11 se puede observar los recursos de alta temperatura localizados en España.

1.5.3.5 Recursos de sistemas geotérmicos estimulados (EGS)

La elevada temperatura de estos yacimientos puede ser causada por un foco de calor próximo (2.000-2.500m). La existencia previa de fracturación regional, con baja permeabilidad que impide la extracción de fluido, lleva a la creación del concepto de EGS (sistemas geotérmicos estimulados).

Las condiciones para el desarrollo de un sistema geotérmico estimulado son:

- Existencia de masa de roca dura, granítica o metamórfica con baja permeabilidad en su matriz.
- Existencia de fracturación regional, preferiblemente de tipo distensivo y que afecte a la masa de roca.
- Existencia de un cierto grado de anomalía.

También es muy favorable la presencia de una masa de sedimentos impermeables cubriendo la zona de interés, para que se mantengan las condiciones térmicas del sistema.

Se seleccionan así unas zonas para el posible desarrollo de sistemas geotérmicos estimulados:

- Fosas tectónicas de La Selva y Vallés, en Gerona y Barcelona. Presentan en su superficie buena permeabilidad que disminuye con la profundidad. A menos profundidad se encuentran recursos de baja media temperatura.
- Galicia. Se pueden desarrollar dos sistemas regionales de fracturas. Por un lado, las que limitan la fosa blastomilonítica que recorre el oeste gallego. Por otro lado, el sistema de fracturas NS y NE-SW, que recorre Lugo y Ourense, pasando por el sur a Portugal.
- Salamanca-Cáceres. Incluyen la existencia de capas sedimentarias superpuestas.
- Sistema Central-Fosa del Tajo. La cobertura de materiales mesozoicos y terciarios puede alcanzar los 4.000 metros. Se han medido gradientes geotérmicos de 35-40°C/km en sondeos en esta depresión.
- Andalucía. Existen áreas que pueden ser candidatas al desarrollo de EGS. Éstas se representan en dos ámbitos geológicos.
- El Macizo Hercínico. Presenta grandes masas de granito con importante fracturación regional, al norte de Sevilla y Córdoba.
- Área de Sierra Nevada. Presenta abundante fracturación regional, más en sus bordes. Al este y al oeste de este ámbito existen manifestaciones termales (Lanjarón y Sierra Alhamilla), y en los mapas de flujo de calor de la península presentan anomalías alcanzando los 70-90 mW/m², que equivale a gradientes geotérmicos regionales de 40-45 °C

2 OBJETIVOS Y ALCANCE

2.1 OBJETIVOS DEL TRABAJO

Este documento se concibe como un estudio preliminar de la viabilidad técnica económica en la instalación de un sistema de District Heating geotérmico, calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), aprovechando infraestructuras mineras abandonadas en la Mina de Reocín. Este estudio viene motivado por experiencias similares en otras cuencas mineras, como por ejemplo en Asturias, que han representado una oportunidad, tanto para reactivar la economía de las zonas afectadas por el abandono de las minas como para reutilizar recursos abandonados de acuerdo a las políticas energéticas y medioambientales actuales. El aprovechamiento de infraestructuras mineras abandonadas viene motivado por el Plan de Acción Urgente en Transición Justa para comarcas mineras que tratará de favorecer el impulso económico de las comarcas mineras a través de:

- Actuaciones relativas a la restauración de explotaciones de comarcas mineras para mitigar el impacto de la pérdida de empleo y asegurar la clausura y restauración de las instalaciones.
- Plan de Desarrollo de Energías Renovables y Eficiencia Energética 2019-2023.
- Elaboración de Contratos de Transición Justa para las comarcas afectadas para fijar empleo a medio y largo plazo.

De acuerdo a esto, se enumerarán los diferentes objetivos planteados en el trabajo:

- Exponer las experiencias existentes y las diferentes opciones de aprovechamiento de recursos mineros abandonados y la reactivación de la economía local de las zonas afectadas por los cierres de las minas.
- Analizar el potencial geotérmico de la zona de estudio seleccionada en el trabajo, la Mina de Reocín, y en concreto, el Pozo de Santa Amelia.
- Analizar las necesidades térmicas de calefacción y ACS de la zona de emplazamiento, el municipio de Reocín.
- Obtener la potencia térmica del posible aprovechamiento geotérmico del Pozo de Santa Amelia.
- Realizar un esquema de las instalaciones necesarias.
- Estimación de la inversión necesaria para el proyecto.
- Manifestar los diferentes beneficios y perjuicios de la instalación de este sistema.

2.2 ALCANCE DEL TRABAJO

El alcance de este informe pretende realizar un estudio previo de la posibilidad de aprovechar instalaciones mineras abandonadas en la Mina de Reocín para crear un sistema de District Heating geotérmico en el municipio de Reocín.

La estructura del documento incluye un estado del arte con las diferentes opciones para analizar el potencial geotérmico de un emplazamiento, las opciones de infraestructura del District Heating geotérmico y su dimensionamiento. En la parte de metodología se seleccionarán los métodos de análisis de potencial geotérmico más adecuado a la información disponible, la selección del sistema a instalar y su pre-dimensionamiento. Posteriormente se tratará de hacer un análisis económico aproximado para analizar su viabilidad. Finalmente se obtendrán diferentes conclusiones para analizar la viabilidad técnica, económica y medioambiental del sistema en el emplazamiento seleccionado.

3 ESTADO DEL ARTE

3.1 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO DEL EMPLAZAMIENTO

Las clasificaciones para evaluar el potencial de la energía geotérmica utilizan diferentes terminologías dependiendo de:

- Profundidades útiles para extraer.
- Coeficientes de recuperación.
- Importancia de la renovabilidad.
- Usos para los que se destine.
- Relación entre la energía existente, extraída y utilizada en el yacimiento.
- Unidades de medida.

Existen conceptos importantes como son:

- Recurso geotérmico de base. El calor de la corteza terrestre desde su superficie hasta 7-10 km de profundidad.
- Recurso geotérmico de base accesible. Asignar al recurso geotérmico de base la limitación de profundidad máxima según la ley.

Con estas interpretaciones se dan diferentes clasificaciones de los recursos geotérmicos:

- Clasificación Lavigne: de uso común en Francia. Sigue la estructura de clasificación de la Ilustración 3-1 Clasificación francesa de recursos y reservas geotérmicas. Fuente: IDAE (10).



Ilustración 3-1 Clasificación francesa de recursos y reservas geotérmicas. Fuente: IDAE

- Clasificación Muffler y Cataldi: sigue la estructura de clasificación de la Ilustración 3-2. En este caso el recurso de base accesible útil la energía térmica que puede ser extraída a igualdad de costes con otras formas de energía. (10)

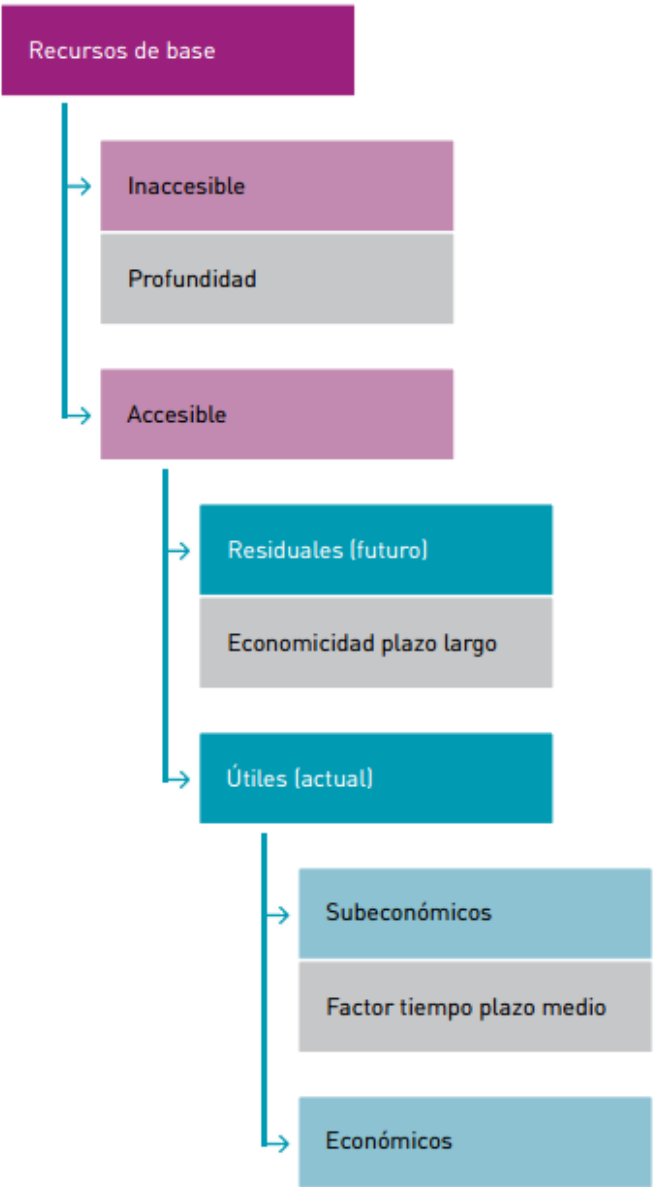


Ilustración 3-2 Clasificación Muffler y Cataldi de recursos y reservas geotérmicas. Fuente: IDAE

- Diagrama de McKelvey adaptado a geotermia: está representado por la clasificación de la Ilustración 3-3, y es la clasificación más aceptada (10).

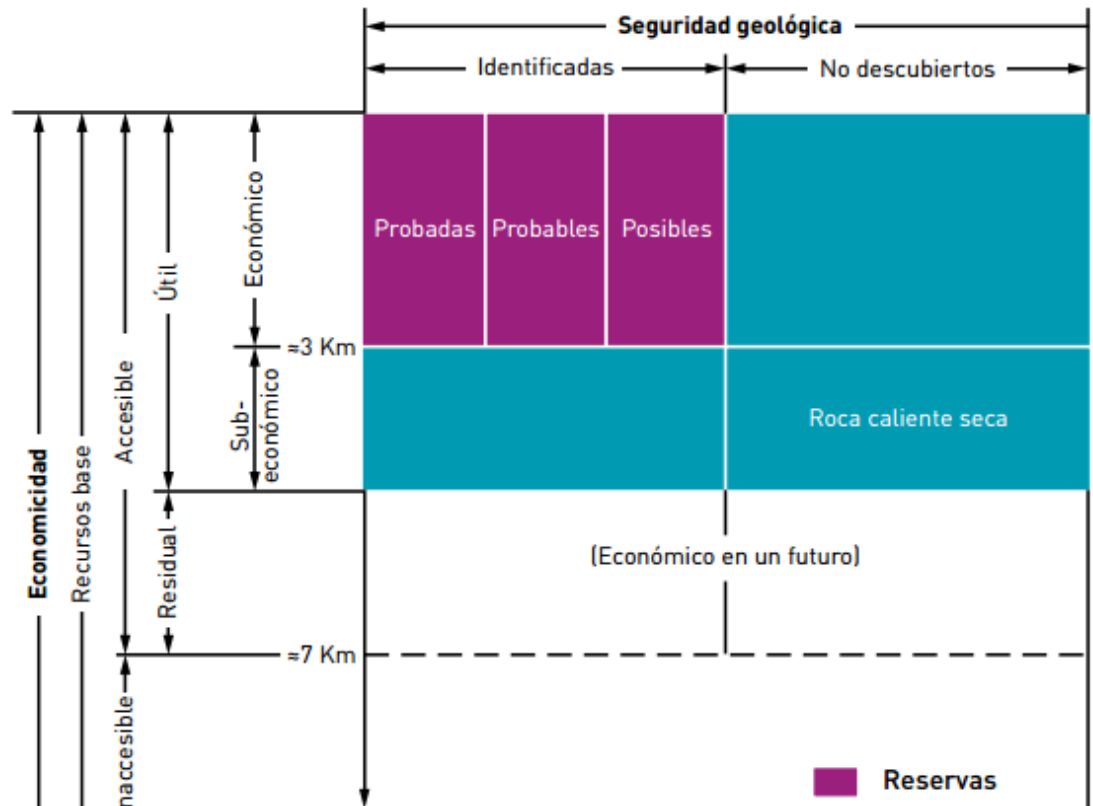


Ilustración 3-3 Diagrama de McKelvey adaptado a la geotermia. Fuente: IDAE

Con estas definiciones se puede establecer una clasificación de los recursos geotérmico general:

- **Recurso base.** Calor almacenado en la corteza terrestre.
- **Recurso base inaccesible.** Calor almacenador en la corteza terrestre, entre la discontinuidad de Moho y una determinada profundidad (7km como límite).
- **Recurso base accesible.** Calor almacenado entre la superficie terrestre y una determinada profundidad (7km como límite).
- **Recurso base accesible útil = RECURSO.** Energía que podrá ser extraída económica y legalmente en un futuro de 100 años incluyendo las reservas.
- **-Recurso subeconómico.** Parte de los recursos de un área que no pueden extraerse, pero podrá hacerse en el futuro próximo por la mejora de la tecnología y/o variación de los condicionantes económicos.
- **Recurso económico.** Recursos de un área que pueden extraerse legalmente con otras fuentes energéticas.
- **Recurso económico no descubierto.** Recursos económicos de zonas inexploradas en regiones donde se tiene constancia de que existen recursos geotérmicos.
- **Recurso identificado.** Recursos económicos que pueden ser explotados ahora o en un futuro próximo.

- **Recurso identificado económico = RESERVA.** Parte de los recursos identificados que pueden ser extraídos hasta una profundidad de 3km.
- **Reservas probadas.** Parte de las reservas que pueden producir energía a costes competitivos en el momento de su determinación.
- **Reservas probables.** Reservas puestas de manifiesto, pero siguen sin perforarse bien. En caso de alumbrarse, resultarían productivas a costes competitivos o en el momento de su determinación.
- **Reservas posibles.** Reservas basadas en criterios geológicos, pero resultarían económicamente competitivas en el momento de su determinación.

3.1.1 Evaluación de los recursos geotérmicos

Los métodos cuantitativos para evaluar recursos geotérmicos se suelen agrupar en:

- Método del flujo térmico superficial
- Método volumétrico
- Método de fracturas planas
- Método de aporte de calor magmático

El método volumétrico es el de aplicación más generalizada y más utilizado en el presente. Se basa en calcular la energía contenida en un volumen de roca.

El primer paso para aplicar el método es calcular la energía térmica existente hasta una determinada profundidad, refiriendo los cálculos a la temperatura media anual (T_0) en superficie.

Para la estimación de los Recursos de Base Accesible (RBA) se ha utilizado la fórmula (10):

$$RBA_i = V_i \cdot \rho_i \cdot C_i \cdot \frac{T_i - T_0}{2}$$

Donde:

RBA_i : Recurso de base accesible a la profundidad i (Julios)

V_i : Volumen del terreno desde la superficie hasta la profundidad i (m^3).

ρ_i : Densidad media de la columna rocosa hasta la profundidad i (kg/m^3).

C_i : Capacidad calorífica media de la columna rocosa hasta la profundidad i ($J/kg\ ^\circ C$)

T_i : Temperatura a la profundidad i ($^\circ C$).

T_0 : Temperatura media anual en su superficie ($^\circ C$).

En zonas donde la información es inadecuada, se puede estimar la temperatura de almacén mediante geotermometrías químicas. Requiere fijar un techo y una base de almacén y suponer que las aguas estén en equilibrio con la roca.

Este calor se estima con la siguiente relación (10):

$$H_0 = [(1 - \phi)\rho_r \cdot C_r + \phi \cdot \rho_a \cdot C_a] \cdot (T_t - T_0) \cdot S \cdot e$$

En la que:

H_0 : calor almacenado en la formación (Julios)

ϕ : porosidad eficaz de la formación (adimensional)

ρ_r : densidad de la roca almacén (kg/m^3)

C_r : capacidad calorífica de la formación (Julios/ $kg^\circ C$)

ρ_a : densidad del agua de formación (1.000 kg/m³)

C_a : Capacidad calorífica del agua de formación 4.186 Julios/kg °C

T_t : temperatura media del almacén

T_0 : temperatura media anual en superficie

S superficie en planta del área considerada del almacén

e : espesor medio útil del almacén geotérmico. Si no se tienen datos se utiliza el mayor conocido de la formación geológica.

El factor de recuperación geotérmica (R) es la relación entre energía geotérmica extraída y utilizada y la total obtenida en un volumen subterráneo de roca y agua. Permite expresar la energía extraíble como un porcentaje de la contenida en un volumen determinado del subsuelo (10):

$$H_r = R \cdot H_i$$

El factor de recuperación depende del mecanismo de producción, de la porosidad y de la diferencia de temperatura entre el almacén y la cabeza de pozo.

Su valor en la actualidad es:

$$R = 0,33 \times \frac{T - T_i}{T - T_0}$$

Donde:

T : temperatura de producción.

T_i : temperatura de inyección

T_0 : temperatura la temperatura media anual en la superficie.

3.1.2 Recursos geotérmicos del emplazamiento

Teniendo en cuenta la siguiente clasificación de los recursos geotérmicos:

- Recursos de Muy Baja Temperatura ($T < 30^\circ$).
- Recursos de Baja Temperatura ($30^\circ\text{C} < T < 100^\circ\text{C}$).
- Recursos de Media Temperatura ($100^\circ\text{C} < T < 150^\circ\text{C}$).
- Recursos de Alta Temperatura ($T > 150^\circ\text{C}$).
- Recursos en Sistemas Geotérmicos Estimulados.

Se establece que el estudio de los recursos de muy baja y baja temperatura son los más adecuados para el objetivo de este trabajo por lo que son en los que se va a centrar. En el documento del IDAE se analizan los recursos geotérmicos de toda España, pero en este caso nos vamos a centrar en los de la zona de Cantabria analizando en primer lugar los recursos geotérmicos de las rocas y posteriormente de los acuíferos.

3.1.2.1 Recursos geotérmicos de muy baja temperatura

Como se comentó anteriormente los recursos de muy baja temperatura son muy dependientes del tipo de roca del subsuelo y de su caracterización hidráulica. Teniendo en cuenta esto, el documento IDAE analiza tanto la capacidad de extracción de calor de cada tipo de roca como el potencial térmico superficial dependiendo de las rocas y de la caracterización hidráulica (Tabla 3-1 y Tabla 3-2). De esta manera permite agrupar los emplazamientos (A, B, C, D y E) dependiendo de su potencial térmico superficial. Aunque este cálculo solo permite caracterizar el potencial térmico de la superficie, pueden extrapolarse los resultados al subsuelo conociendo las diferentes rocas que contiene el mismo (10).

Tabla 3-1 Capacidad de extracción de calor de las rocas. Fuente: IDAE

Tipo de roca (litologías)	Capacidad de extracción de calor (W/m)
Gravas y arenas secas	<25
Arcillas y margas húmedas	35-50
Calizas y dolomías masivas	55-70
Areniscas	65-80
Granitos	68-85
Rocas básicas (basaltos)	40-65
Rocas metamórficas (gneis)	70-85
Gravas y arenas saturadas de agua	65-80
Gravas y arenas con gran circulación de agua	80-100

Tabla 3-2 Grupos de litologías establecidas en función de características térmicas de la roca y potencial térmico correspondiente. Fuente: IDAE

Grupo	Tipo de litología	Caracterización hidráulica	Potencial térmico superficial (W/m)
A	Arenas, gravas arcillas y limos	Muy secos y nivel muy profundo (>30 m)	< 25
B	Arcillas y limos	Húmedos	30-50
C	Calizas, dolomías, basaltos y calcarenitas	Húmedos	40-60
D	Gravas, gravillas, arenas, areniscas, granitos y otras rocas metamórficas con esquistos y gneises	Húmedos. Nivel somero.	60-80
E	Gravas y arenas	Muy permeables, nivel muy somero y elevada circulación de agua	80-100

Esta información junto a la información relativa a los acuíferos disponibles en la zona ha permitido realizar un mapa de potencia térmica superficial de Cantabria, representador en la Ilustración 3-4. Para definir la viabilidad económica de un proyecto es necesario disponer de datos como profundidad del acuífero, caudal extraíble, temperatura y caudal del agua. En este caso es un potencial superficial estimado.

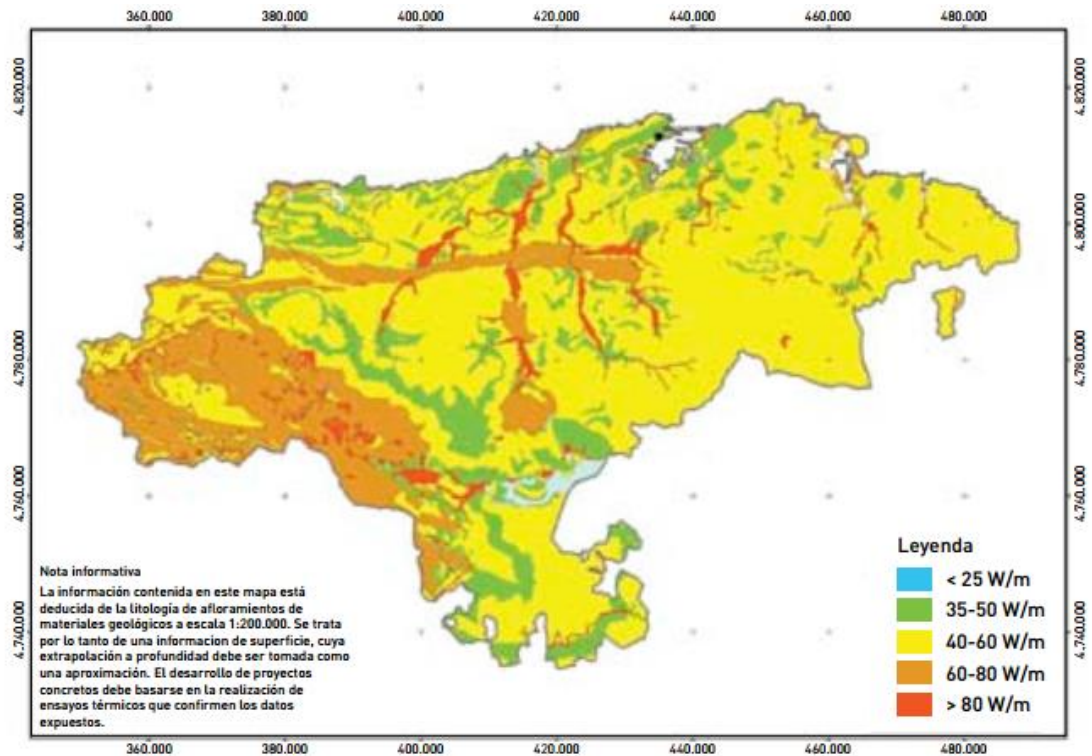


Ilustración 3-4 Mapa de potencia térmica superficial de Cantabria. Fuente: IDAE

A través de este mapa de la Ilustración 3-4, se puede analizar el potencial térmico superficial de la zona de la Mina de Reocín se encuentra en la zona Amarilla/Naranja/Rojo por lo que de manera preliminar se puede estimar que el potencial térmico superficial de la zona es de medio a alto.

3.1.2.2 Recursos geotérmicos de baja temperatura

El rango de temperatura de este tipo de recursos es de 30 a 100°C. Se localiza en zonas con un gradiente geotérmico de 25-35°C/km a profundidades de 1.500 a 2.500 metros, y en zonas con gradiente geotérmico mayor a profundidades que pueden ser menores de 1.000 metros. Es condición geológica para su existencia la presencia a la profundidad adecuada de formaciones geológicas permeables (arenas, areniscas, conglomerados...).

Los recursos geotérmicos de baja temperatura se clasifican en los situados en grandes cuencas sedimentarias y los situados en zonas de cordilleras y depresiones internas de las mismas.

La condición geológica más importante en este tipo de recursos es la profundidad de recursos geológicos permeables que permitan almacenar y circular agua. Por lo que se analiza el tipo de agua. En la Tabla 3-3 se indican las características del agua de diferentes zonas de Cantabria. En el caso de la Mina de Reocín será la relativa a Puente Viesgo-Besaya. En la Ilustración 3-5 se puede observar el mapa de situación de acuíferos para su uso térmico con bomba de calor en Cantabria.

Tabla 3-3 Características de las aguas subterráneas de Cantabria para su aprovechamiento térmico. Fuente: IDAE

UH	Nombre	Naturaleza	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Caudal (l/s)	Conductividad (µs/cm)
109	Castro Urdiales-Ajo	Carbonatado	--	11-20	--	<500
110	Alisa-Ramales	Carbonatado	--	11-16	<50	<500
111	Santander-Camargo	Carbonatado	--	11-20	--	<500
112	Puerto del Escudo	Carbonatado	--	15-24	--	<500
113	Cabuérniga	Carbonatado	--	12-24	--	<500
114	Pte. Viesgo-Besaya	Carbonatado	--	12-16	--	--
115	Santillana-S. Vicente de la Barquera	Carbonatado	--	11-20	--	<500
116	Llanes-Ribadesella	Carbonatado	--	12-15	--	<500
117	Picos de Europa-Panes	Carbonatado	--	12-20	--	<500

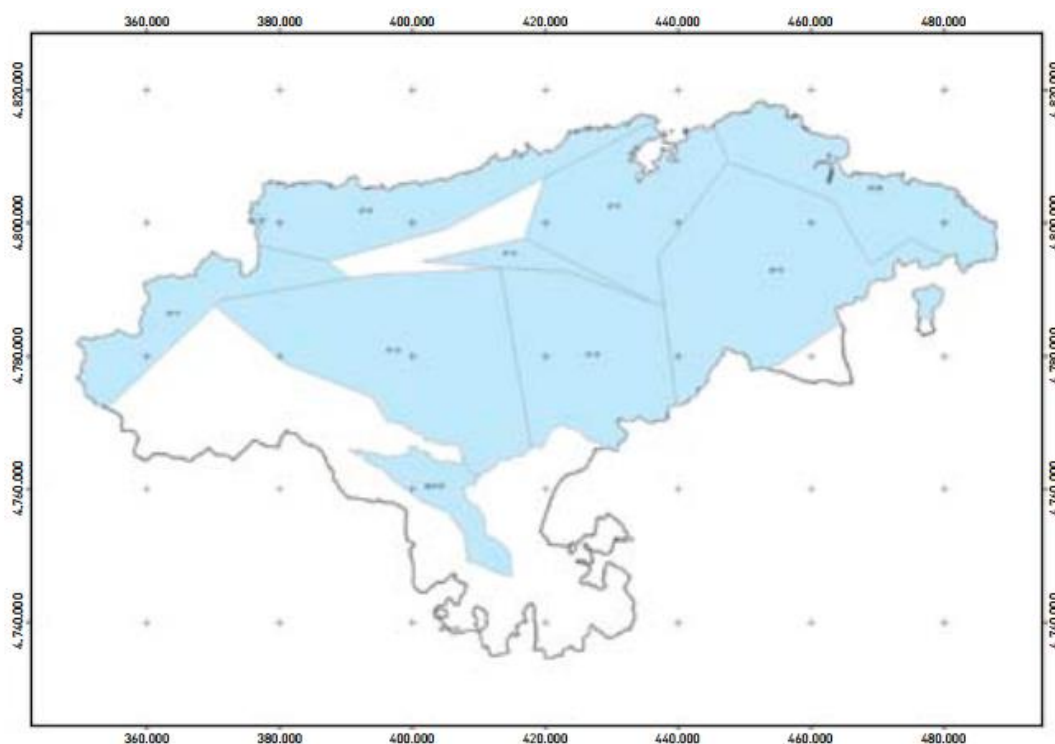


Ilustración 3-5 Mapa de situación de acuíferos para su uso térmico con bomba de calor en Cantabria. Fuente: IDAE

3.1.2.3 Recursos geotérmicos de Media Temperatura

Su temperatura permite el uso para producción de electricidad mediante ciclos binarios, y cada día más utilizados en procesos combinados de producción de electricidad y sistemas district heating.

En la Ilustración 1-11, se puede observar que existe una pequeña zona con recursos geotérmicos de media temperatura en la zona del Valle del Pas.

3.1.2.4 Recursos geotérmicos de Alta Temperatura

Las condiciones de existencia de yacimientos de alta temperatura son: existencia de foco activo de calor próximo a la superficie de la tierra, existencia de una formación permeable que transmita fluido geotérmico y la presencia de una capa impermeable que impida el escape de energía.

La presencia de estos recursos está ligada a la existencia de anomalías de calor en zonas con una alta inestabilidad geológica (elevada actividad sísmica, formación de cordilleras y orógenos recientes, abundantes manifestaciones termales y actividad volcánica y/o plutónica).

Estos fenómenos tienen lugar en varios puntos de España, pero solo en Canarias existe actividad magmática. Ciertos estudios en Lanzarote y La Palma, evidencian la existencia de anomalías térmicas superficiales, con temperaturas mayores a 300°C. En Cantabria no existen recursos de este tipo.

3.2 SISTEMAS DE DISTRICT HEATING CON GEOTERMIA EXISTENTES

Si se suma la tecnología de District Heating manejado a través de energía primaria renovable como es la energía geotérmica, se consigue un sistema de generación de calor centralizado a través de tecnologías que no implican emisiones de gases de efecto invernadero.

La planificación y puesta en marcha, un District Heating geotérmico puede ocupar unos tres años y se divide en cuatro fases principales tal y como se define en el siguiente esquema:

- Fase 1:
 - Analizar la producción de calor geotérmico.
 - Identificar el mercado de District Heating.
 - Diseño preliminar de la red District Heating para zonas seleccionadas.
 - Evaluar la viabilidad de la calefacción y la refrigeración del distrito.
- Fase 2:
 - Seguro de riesgo.
 - Perforar el primer pozo.
 - Perforar el segundo pozo.
 - Pruebas a largo plazo.
- Fase 3:
 - Puesta en servicio
 - Construir estaciones de calefacción
 - Construir red.
- Fase 4:
 - Explotación y mantenimiento.

Cuando el proyecto se encuentra en áreas donde no se han perforado pozos profundos previamente, para el uso de agua, minería o exploración de gas & oil, el riesgo geológico es máximo y la productividad es difícil de predecir. La fase de perforación se vuelve arriesgada y debe ser asegurada mediante sistemas de seguros públicos o público-

privados o a fondo perdido. Este hecho es una gran motivación para utilizar sistema perforados ya existentes, como los mencionados anteriormente, para la generación de Distric Heating geotérmico.

Algunos proyectos que utilizan este sistema se describen a continuación.

3.2.1 Europa: proyecto Geo-DH

El objetivo del proyecto europeo GEO-DH es impulsar la implementación de la calefacción urbana geotérmica para garantizar la seguridad en el suministro energético y acelerar la sustitución de los combustibles fósiles. La tecnología geotérmica de calefacción urbana (DH) está poco desarrollada a pesar de que el potencial geotérmico es significativo y competitivo en Europa.

GEODH tiene como objetivo eliminar las barreras administrativas y financieras y trabajar para adoptar un marco normativo específico que estimule este sistema de geotermia urbana como una opción energética eficaz y eficiente. Promueve simplificar los procedimientos requeridos para la elaboración y ejecución de un proyecto de Geotermia Urbana.

Quiere dar una visión general sobre el potencial de las aplicaciones de calefacción de distrito geotérmicas en 14 países europeos (Bulgaria, República Checa, Dinamarca, Francia, Alemania, Hungría, Irlanda, Italia, Países Bajos, Polonia, Rumania, Eslovaquia, Eslovenia, Reino Unido). Intentar incorporar en el proyecto GeoDH nuevos países como Bosnia-Herzegovina, Bulgaria, Croacia, Irlanda, España y Noruega.

En la Unión Europea hay 3550 sistemas de DH que proporcionan calor para 2.160 ciudades y pueblos de más de 5.000 habitantes. La mayoría de los sistemas son alimentados por gas y sólo el 1% en energías renovables (principalmente biomasa, la energía geotérmica aporta sólo el 0,001% en sistemas de calefacción urbana).

Casi todos los países europeos tienen actividad geotérmica, por lo que pueden desarrollar proyectos de geotermia urbana. En 2011 estaban operativos en Europa 212 sistemas de Geotermia Urbana GeoDH. El total de la potencia instalada es aproximadamente 4.700 MWth.

3.2.2 Sistema de calefacción urbana de Southampton, UK.

Southampton tiene un sistema de calefacción urbana con energía geotérmica desde 1986. Se han ido introduciendo una serie de características innovadoras, la más significativa, la generación de electricidad combinada a la red geotérmica. La capacidad de cogeneración para producir electricidad y calor es una opción de planificación energética que Southampton presenta como un ejemplo a seguir.

La Central Geotérmica de Distrito de Southampton tiene también sistema de agua fría para el aire acondicionado desde 1994. Después se añadió un innovador sistema de almacenamiento de hielo para satisfacer los picos de demanda en refrigeración.

Un circuito cerrado de tuberías distribuye el calor a partir de la Central Energética. En la Central se encuentra el intercambiador de calor, las bombas de distribución, un generador de cogeneración para proveer electricidad demandada por los equipos, además del control y supervisión de datos. En los períodos de demanda excepcionalmente elevada, el calor adicional es proporcionado por las calderas de apoyo.

El esquema de Southampton fue desarrollado en baja temperatura y baja presión para reducir las pérdidas de calor y maximizar la vida de la red. La red opera utilizando una temperatura de flujo de 80°C y un retorno a 50°C, con presiones de distribución de 5 bar. Esto permite conexiones directas en la mayoría de los edificios, eliminando la necesidad de intercambiadores de calor, reduciendo aún más los costos de capital y de energía perdida.

El sistema de Energía de Distrito Southampton es un proyecto pionero de suministros sostenibles de calefacción, refrigeración y electricidad en el Reino Unido. Durante más de 25 años SDES ha implementado nuevos suministros energéticos, actualmente continúa expandiéndose en nuevas áreas. Los usuarios incluyen más de 30 de los mayores usuarios de energía en el centro de la ciudad, incluyendo los estudios de televisión, un hospital, una universidad, un centro comercial, un centro cívico, edificios residenciales y un hotel.

Una característica clave del éxito del sistema de Southampton es el crecimiento orgánico continuo, dando servicio a los requerimientos de su entorno. En 2009 a partir de motores de cogeneración se incorporó la producción de electricidad para suministrar al puerto en aproximadamente la mitad de su demanda total.

3.3 APROVECHAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA MINERA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA.

En base a todo lo visto anteriormente es sencillo pensar que las minas cuentan características aprovechables para su uso como sistemas geotérmicos, además de ser su implantación más segura y económica en sistemas con perforaciones previas. Muchas comunidades en Canadá y Europa ya están utilizando la energía geotérmica procedente de minas abandonadas como fuente de calor.

Ciertos investigadores han analizado el flujo de calor a través de los de túneles de minas inundadas estimando que, por cada kilómetro de una mina típica se podrían producir 150 kW de calor. En tal situación, el agua caliente desde el interior de la mina podría ser bombeada a la superficie, donde se extraería el calor y el agua fría se devolvería al subsuelo.

La actividad minera llevada a cabo desde la superficie (minería de montaña) o mediante labores subterráneas (pozos verticales), ha modificado el macizo rocoso que contenía el carbón u otros minerales, provocando la ampliación de huecos existentes (fracturas en el terreno) y creando otros nuevos (galerías, chimeneas de ventilación, las propias capas explotadas, etc...). De esta forma, el agua de lluvia se infiltra y se drenan los niveles permeables existentes, obligando a evacuar estas aguas mediante sistemas de bombeo, que deben funcionar durante todo el ciclo de vida de la actividad extractiva.

Cuando cesa la explotación y se detiene el bombeo se produce la inundación de los huecos, dando lugar a un nivel piezométrico cuya posición puede no coincidir con la inicial, siendo necesario, en algunos casos, mantener un bombeo permanentemente para evitar posibles afecciones. Hacer frente al mantenimiento de las actividades de bombeo (energía, equipos, instalaciones y personal) supone un alto coste económico que se puede reducir aprovechando la energía contenida en las aguas de mina para climatización mediante la tecnología de las bombas de calor. Son equipos altamente contrastados, con rendimientos elevados y capaces de satisfacer las demandas térmicas de climatización de grandes instalaciones y reduciendo significativamente los costes y las emisiones de CO₂.

En el caso de España, con numerosas infraestructuras mineras en desuso y un potencial geotérmico de baja y muy baja temperatura elevado, la motivación para valorizar energéticamente el agua contenido en los acuíferos de las minas es evidente.

HUNOSA, Hulleras del Norte S. A., es una empresa pública que en origen se ha dedicado a la extracción minera y a su explotación en la zona central del Principado de Asturias. Tras las políticas energéticas actuales, dirigidas al abandono del carbón como fuente primaria de energía, la empresa sufrió una importante reducción de la producción y del empleo. Con la firma del nuevo convenio colectivo y plan de empresa 2019-2027 HUNOSA afronta el reto de transformar una empresa eminentemente minera en una empresa que apuesta por la generación energética sostenible, en la que tendrán preponderancia las energías renovables locales para contribuir a minimizar la crisis climática que se cierne como una de las mayores amenazas que las sociedades y los modelos de producción deben hacer frente.

El recurso geotérmico asociado a la actividad minera es un recurso renovable que está creado de manera artificial. En la Cuenca Carbonífera Asturiana no existen grandes acuíferos, sin embargo, tras años de desarrollo minero se crea una red de galerías y talleres que fracturan el terreno, modificando su estado natural y transformándolo, en su comportamiento hidráulico, en un pseudo karst de origen antropogénico. Cuando se cierran las minas comienza la etapa de inundación y el agua ocupa los espacios vacíos. Este proceso de inundación se debe hacer de manera controlada y se fija una determinada cota que el agua no puede sobrepasar para asegurarse que no haya afecciones a terceros. Este aprovechamiento es una iniciativa que permite minimizar el coste que este bombeo implica. Este nuevo recurso es un ejemplo pionero de economía circular pues estamos creando de un problema, los costes eternos asociados al bombeo, una fuente de riqueza y un recurso sostenible.

HUNOSA inició los estudios llegando a la conclusión de que el aprovechamiento geotérmico de las aguas de mina tenía el potencial necesario para constituir una línea de negocio en el proceso de diversificación del Grupo. Para su implementación se solicitaron las concesiones que aseguran la sostenibilidad en la explotación de un recurso que según la Ley de Minas está integrados en la sección D “energía geotérmica empleando bomba de calor”.

Durante el periodo (2006-2016) HUNOSA ejecuta los proyectos del Hospital Vital Álvarez Buylla, el Edificio de Investigación de la Universidad de Oviedo y la sede de la Fundación Asturiana de la Energía (FAEN). Instalaciones, todas ellas, en pleno funcionamiento y que suman 4 MWt.

En estos años, los avances tecnológicos en los sistemas de generación permiten producir agua caliente a alta temperatura (85°C) y se hace posible el uso de estas enfriadoras para la climatización de todo tipo de edificios.

A finales del año 2018 comenzaron las obras de la nueva red de calor con geotermia desde el pozo Barredo.

Esta nueva instalación geotérmica permitirá alimentar tres circuitos, dos de ellos de alta temperatura (Escuela científico-técnica de la Universidad de Oviedo y el Instituto de Enseñanza Secundaria Bernaldo de Quirós), y otro de baja temperatura asociado a los edificios M9 y M10 de Vasco Mayacina, lo que favorecerá el aumento en el rendimiento de los equipos de la central de generación, al poder trabajar a una menor temperatura de consigna, cuando no coexista con la demanda de los circuitos de alta temperatura.

La red de calor geotérmica tendrá una capacidad de 2 MWt, que supondrá una potencia total cercana a los 6 MWt, conformando el mayor complejo geotérmico de España. La demanda de energía geotérmica anual estimada es de 2,462.88 MWh que cubrirá el 100% de la demanda de calefacción y el precalentamiento de ACS en los edificios M9 y M10 (11) (12) (13).

Existen diferentes partes importantes a tener en cuenta para la realización de este sistema.

3.3.1 Sistema abierto de captación geotérmica

Se basa en el aprovechamiento de la energía contenida en el agua de mina, bombeada en los pozos mineros clausurados, mediante la circulación de ésta a través de un intercambiador de calor. No se produce consumo del agua sino de la energía que contiene de forma que, una vez cedida parte de esa energía a otro fluido secundario, ese caudal es enviado de nuevo a su punto de vertido en el río o en el acuífero.

3.3.2 Intercambiador de calor

Es un dispositivo que permite la transferencia de calor de un fluido a otro sin que estos entren en contacto. Los intercambiadores más habituales son los de placas o los de tipo tubular.

3.3.3 Calidad de las Aguas de Mina

Es importante analizar el tipo de agua contenido en los acuíferos para evaluar los posibles problemas de corrosión de las tuberías o de dureza para utilización del agua directamente en la bomba de calor. En el caso Los diferentes estudios llevados a cabo en las Cuencas Mineras de la zona Central Asturiana han determinado que las aguas de mina son de tipo bicarbonatado-sódicas, con $\text{pH} \geq 7$ y no provocan problemas de corrosión en tuberías. El principal problema que afecta a este tipo de aguas es su elevada dureza que impide la utilización directa de las aguas de mina como fuente fría en la bomba de calor. Este problema puede solventarse mediante la utilización de intercambiadores de calor intermedios.

3.3.4 Caudal de Agua Disponible

Se estima un caudal medio aprovechable de 36,8 $\text{Hm}^3/\text{año}$. En el cálculo de esta media no se incluye los valores de los últimos años porque durante los mismos se ha procedido a la inundación de diferentes unidades mineras como consecuencia del cese de la actividad. La acumulación de agua en el hueco minero por la inundación hace disminuir considerablemente el caudal total bombeado sin que esto represente en ningún caso una disminución del recurso aprovechable una vez se han estabilizado los niveles de inundación.

3.3.5 Temperatura de las aguas

Factor clave a la hora de acometer un proyecto, así como su comportamiento en el tiempo. En el caso del agua de mina, las sucesivas mediciones han permitido determinar que la temperatura del agua en estos grandes “embalses” oscila, en función de los pozos, entre los 17° y los 26° manteniéndose constante durante todo el año.

3.3.6 Capacidad de regulación

Conocer la capacidad de regulación disponible de las aguas de mina es fundamental a la hora de llevar a cabo un proyecto geotérmico. Los diferentes estudios llevados a cabo a través de la digitalización e interpretación del conjunto de labores mineras existentes han permitido constatar que se dispone de un volumen de huecos superior a 87,12 Mm^3 . Este volumen permite una correcta gestión del almacén, que puede asumir caudales variables a lo largo de cada temporada.

3.3.7 Funcionamiento de la bomba de calor

Una bomba de calor es una máquina térmica que hace pasar calor de un foco a baja temperatura (foco frío) a otro foco de mayor temperatura (foco caliente) mediante la aportación de una cantidad de energía (trabajo) en el sistema de compresión. Este proceso puede invertirse, de tal forma que durante el régimen de refrigeración el intercambio tiene lugar en sentido inverso.

3.3.8 Partes del sistema de District Heating

Los sistemas de climatización más eficientes son los basados en redes de calefacción distribuida, redes de distrito, redes de calor o -como se denominan en inglés- district heating.

Estos sistemas producen energía térmica en unas instalaciones centralizadas y la distribuyen hasta los usuarios mediante un conjunto de tuberías (generalmente subterráneas), a través de un fluido que suele ser agua caliente. Este sistema garantiza

una mejor eficiencia energética y calidad de servicio que el que ofrecen las instalaciones individuales, además de permitir la utilización eficiente de la energía térmica y de fuentes renovables como la biomasa, fácil de integrar, fiable y flexible.

Los elementos principales de un district heating son:

3.3.9 Central térmica

Las tipologías de la central térmica varían en función de la tecnología utilizada para la generación de calor (o frío en su caso), así como de las fuentes energéticas que se utilicen (combustible). La central térmica puede funcionar a partir de gas, biomasa u otros combustibles. La planta térmica se sitúa en una construcción exclusiva para su uso, en la que no se fabrican productos, sino que se calienta agua u otro fluido, que se conducirá hasta los edificios de viviendas para usarlo en las calefacciones, para Agua Caliente Sanitaria, como vapor en algunos negocios como tintorerías, planchado, etc...Aquí se ubican todos los elementos necesarios para la generación de calor, así como los grupos de bombeo utilizados para impulsar el fluido calor-portante hasta los distintos puntos de consumo. Las centrales térmicas funcionan de forma automática, en función de la variación de la demanda: si aumenta el número de viviendas que enciende su calefacción, es detectado por el sistema de control, basado en controladores digitales situados en la central y en cada una de las subestaciones térmicas de los distintos edificios.

3.3.9.1 Red de distribución

Una vez generada el agua caliente o el vapor, se procede a su distribución hasta los edificios por medio de tuberías aisladas térmicamente. Esta línea de calor consta de dos conducciones, una para la ida y otra para el retorno. En redes District Heating, estas líneas de transporte constan de cuatro conducciones. En las nuevas construcciones urbanísticas, se reduce el coste de la obra, ya que la red de distribución de agua caliente sustituye a la red de distribución de gas y aprovecha las zanjas de la red de abastecimiento de agua. Este sistema de conducción presenta una serie de ventajas frente a las tuberías aisladas en obra por el método tradicional:

- Se minimizan las pérdidas térmicas.
- Se agiliza el montaje y disminuye la mano de obra.
- Una vida útil más larga y se minimiza el mantenimiento.
- Existe una gran gama de dimensiones y accesorios para las tuberías, existiendo también tubería rígida y flexible.
- Fácil detección de fugas en la red, con una precisión de 1 metro.

3.3.9.2 Subestaciones de transmisión térmica

Desde un punto próximo al edificio se conecta el edificio con la red de distribución, conectándose a la red en paralelo. Una vez este enganche está en el edificio, se ubica una subestación de transmisión térmica, mediante el cual se cede calor a los elementos terminales para el servicio de calefacción y agua caliente sanitaria de las viviendas. Estas subestaciones permiten la combinación con otras fuentes de calor para la aportación a la calefacción y el agua caliente sanitaria.

La instalación está provista de sistemas individuales de control y medida del consumo, lo cual ofrece tres importantes ventajas:

- Regulación automática: al funcionar de modo automatizado, son los consumos de los usuarios los que regulan el funcionamiento de la central térmica.
- Control individual: el usuario puede establecer las condiciones de confort en su hogar.

- Facturación individual: se instalan unos contactores de calor para cada vivienda, y al disponer de estas mediciones de consumos individuales de energía, el sistema permite la facturación individual a los usuarios, facilitando la gestión de la explotación.

3.3.10 Bomba de calor geotérmica

Una bomba de calor es una máquina térmica que transfiere el calor desde un foco frío a otro caliente con una gran eficiencia. Su ventaja reside en la capacidad para aprovechar la energía existente en el ambiente (foco frío), para acondicionar las dependencias interiores (foco caliente) con una aportación de trabajo pequeña en forma de energía eléctrica.

Para ello, la bomba de calor utiliza un gas refrigerante en un ciclo cerrado que transporta el calor del medio ambiente a un habitáculo a acondicionar, con la particularidad de invertir el flujo natural de calor, de forma que fluya desde una temperatura más baja a una más alta. Esto es posible gracias al trabajo realizado por el compresor.

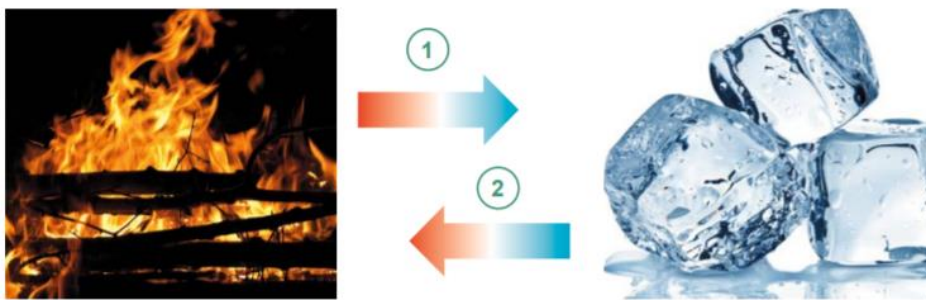


Ilustración 3-6 Principio de funcionamiento de la bomba de calor. Fuente: Síntesis del Estudio Parque de Bombas de Calor en España.

En la imagen, el calor fluye naturalmente del foco caliente al frío (1), y una bomba de calor mueve éste en la dirección contraria (2).

3.3.10.1 Ciclo de la bomba de calor

El funcionamiento de la bomba de calor puede sintetizarse en cuatro etapas diferenciadas, como indica la Ilustración 3-7.

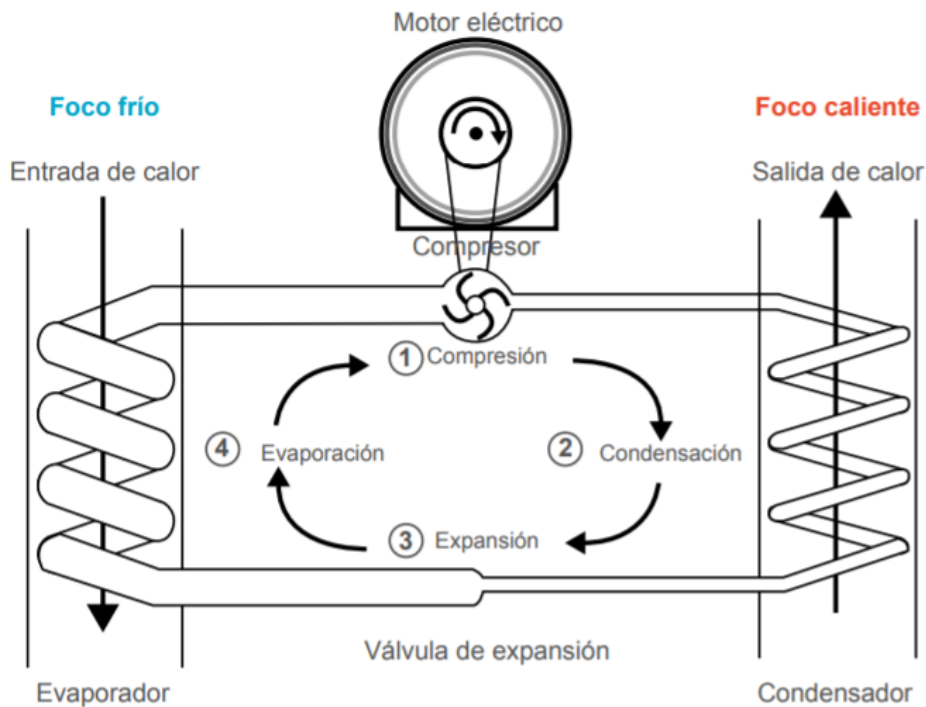


Ilustración 3-7 Bomba de calor de compresión mecánica accionada por motor eléctrico. Fuente: Síntesis del Estudio Parque de Bombas de Calor en España.

- **Compresión:** primero se comprime un flujo refrigerante. Aquí, la energía eléctrica consumida por el compresor se transforma en calor transmitido al refrigerante al elevar su presión y temperatura, aumentando así su entalpía (energía que puede intercambiar con su entorno).
- **Condensación:** este fluido caliente pasa por el condensador. En este intercambio, el fluido cede su calor al foco caliente y al enfriarse se produce la condensación del refrigerante, pasando de estado gaseoso a líquido (proceso exotérmico).
- **Expansión:** el fluido pasa por otro intercambiador en la fuente fría, llamado evaporador, en el que se produce un cambio de fase endotérmico, donde el refrigerante se evapora absorbiendo calor de nuevo, para volver a reiniciar el ciclo en el compresor.
- **Evaporación:** finalmente, el fluido pasa por otro intercambiador, situado en la fuente fría (evaporador), en el que se produce un cambio de fase endotérmico, donde el refrigerante se evapora absorbiendo calor de nuevo, para volver a reiniciar el ciclo en el compresor.

En la Ilustración 3-8 observamos el esquema de funcionamiento simple de un sistema de refrigeración. Este tipo de ciclos se caracterizan por tener pérdidas de presión en el condensador y el evaporador. La compresión en estos ciclos no es isoentrópica (la entropía no permanece constante), y la expansión no es isoentálpica (la entalpía no permanece constante).

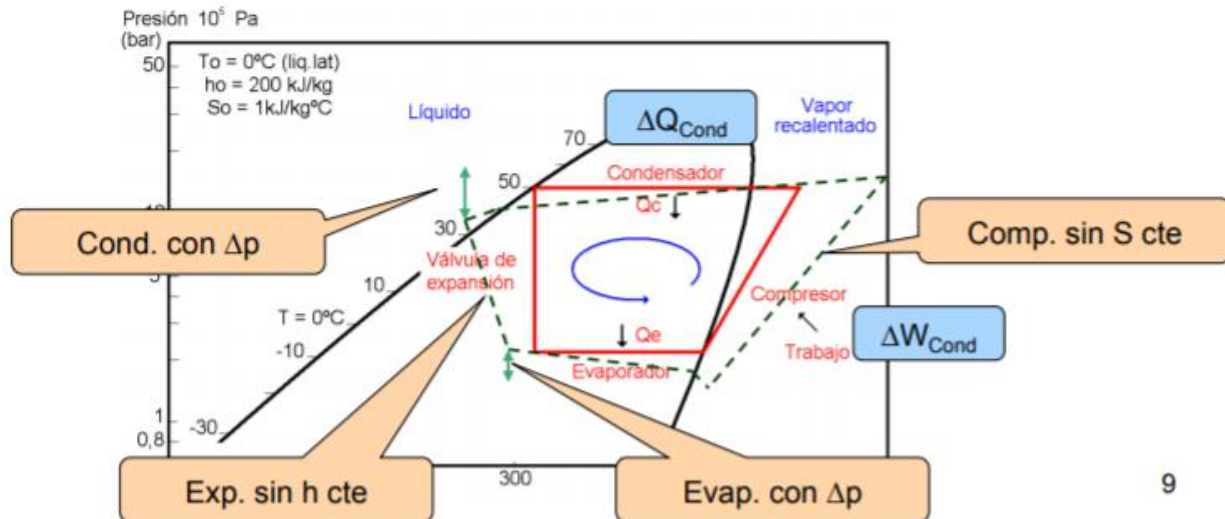


Ilustración 3-8 Ciclo simple de refrigeración. Fuente: Universidad de Cantabria

Se indica en la Ilustración 3-9 la gráfica resultante de este proceso de refrigeración.

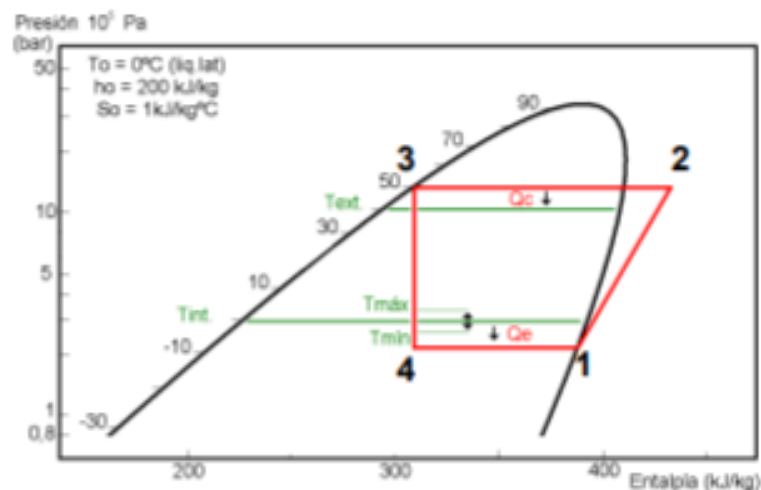


Ilustración 3-9 Gráfica funcionamiento bomba de calor simple. Fuente: Universidad de Cantabria

Compresor

Uno de los equipos principales de una bomba de calor. El compresor es el encargado de elevar la presión del vapor refrigerante desde la presión de aspiración a la de descarga. Pueden clasificarse como abiertos, semiherméticos o herméticos, según sea la disposición del motor respecto al compresor. Según el mecanismo interno de la compresión, destacan los compresores de desplazamiento positivo, donde destacan los alternativos (Ilustración 3-10 Ilustración 3-11 Ejes de un compresor rotativo) que su uso es cada vez menor; rotativos (Ilustración 3-10 Sección compresor alternativoe Ilustración 3-11), empleados en bombas de no elevada potencia; y de tornillo, utilizados en bombas de calor de gran potencia (>100kW).

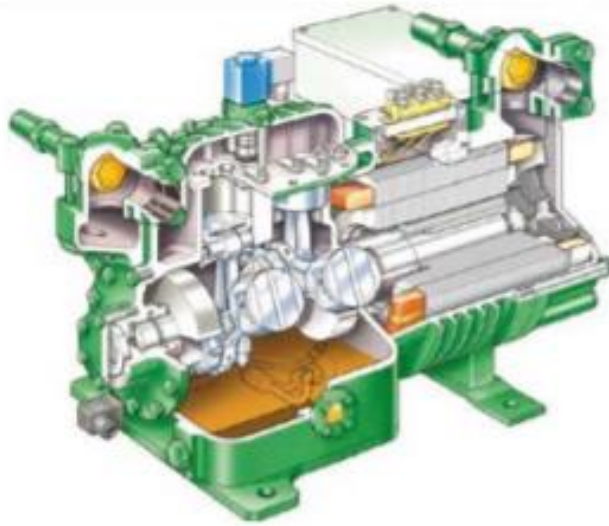


Ilustración 3-10 Sección compresor alternativo



Ilustración 3-11 Ejes de un compresor rotativo

Evaporador

Es un intercambiador de calor en el que se produce el cambio de fase del refrigerante de líquido a vapor, absorbiendo calor, a través de su superficie ampliada por un sistema de aletas.



Ilustración 3-12 Evaporador bomba de calor. Fuente: refrielectriclasose

Válvula de expansión

Se desarrollan para regular la inyección de refrigerante líquido a los evaporadores. Esta inyección está siempre regulada por un elemento termostático que está situado en la parte superior de la válvula de expansión, que es controlada en función del recalentamiento del refrigerante.

Consta de un elemento termostático (1) separado del cuerpo de válvula por una membrana. El elemento termostático está conectado con un bulbo (2) a través de un tubo capilar, un cuerpo de válvula con asiento de válvula (3), y un muelle (4), como se puede observar en la Ilustración 3-13.

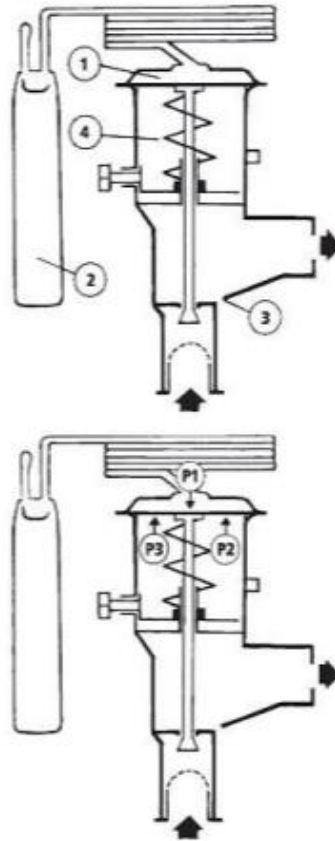


Ilustración 3-13 Válvula de expansión. Fuente: juntadeandalucia

Condensador

Es un intercambiador de calor situado a lo largo del calderín y a través del cual el fluido refrigerante en forma de vapor cede toda su energía al agua del depósito. A medida que va cediendo la energía condensa y vuelve a estado líquido. Se puede apreciar en la Ilustración 3-14.



Ilustración 3-14 Condensador bomba de calor. Fuente: refrielectriclasose

3.3.10.2 Clasificación de la bomba de calor

A continuación se introduce un esquema de funcionamiento con los distintos medios que pueden actuar como focos frío o caliente.

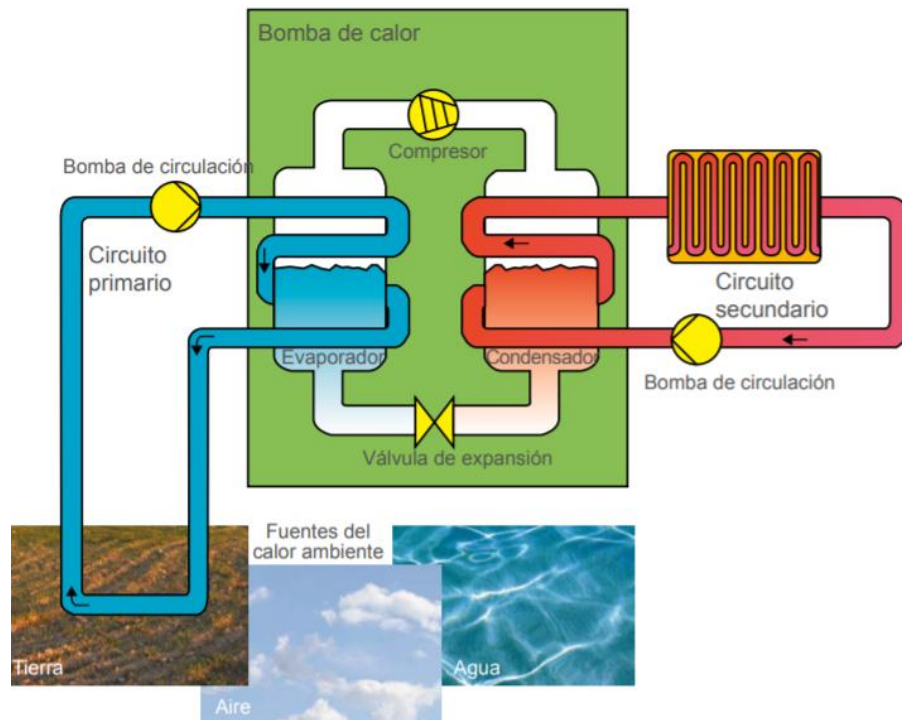


Ilustración 3-15 Esquema de funcionamiento de una bomba de calor y los focos fríos para calefacción. Fuente: Síntesis del Estudio Parque de Bombas de Calor en España.

En función del tipo de medio con el que la bomba de calor intercambia calor con el exterior (aire, agua o tierra), así como del medio al que se transfiere el calor de la máquina térmica (aire o agua), se puede hacer la siguiente clasificación de las bombas de calor:

- Bomba de calor aire-aire
- Bomba de calor aire-agua
- Bomba de calor agua-aire
- Bomba de calor agua-agua
- Bomba de calor tierra-aire
- Bomba de calor tierra-agua

A continuación, la Ilustración 3-16 muestra un ejemplo de los flujos energéticos existentes en una bomba de calor. Una parte importante de la energía utilizada por la bomba de calor proviene del medio ambiente exterior, por lo que los índices de eficiencia de las bombas de calor son superiores a la unidad.

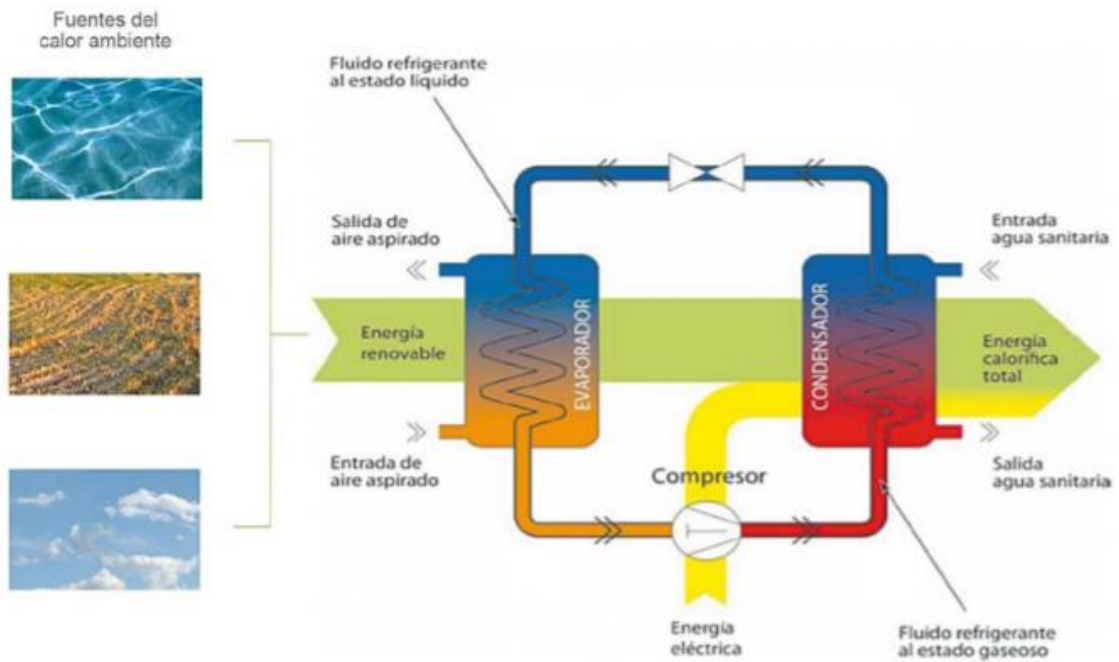


Ilustración 3-16 Flujos de energía en una bomba de calor. Fuente: Síntesis del Estudio Parque de Bombas de Calor en España

3.3.10.3 Bombas de calor reversibles

Suponen una amplia mayoría dentro del parque de bombas de calor en España. Lo que permite este proceso es el funcionamiento de la bomba de calor en modo calefacción y en modo refrigeración, circulando el gas refrigerante en uno y otro sentido, invirtiendo así el flujo de calor entre el interior y el exterior. Para conseguir este proceso se requiere de un dispositivo auxiliar denominado válvula de cuatro vías, con la que es posible la reversibilidad en los equipos de calor.

La disposición y los componentes son los mismos, variando el funcionamiento de los intercambiadores de calor, con la inversión del ciclo gracias a la válvula de cuatro vías. En modo calefacción, el intercambiador interior actúa como condensador y el exterior lo hace como evaporador; mientras que en modo refrigeración, haciendo uso de la válvula auxiliar, desplaza el sentido dentro de la válvula de cuatro vías, invirtiendo el ciclo. Por ello, el intercambiador interior actúa como evaporador, siendo el exterior el que funciona como condensador (Ilustración 3-17).

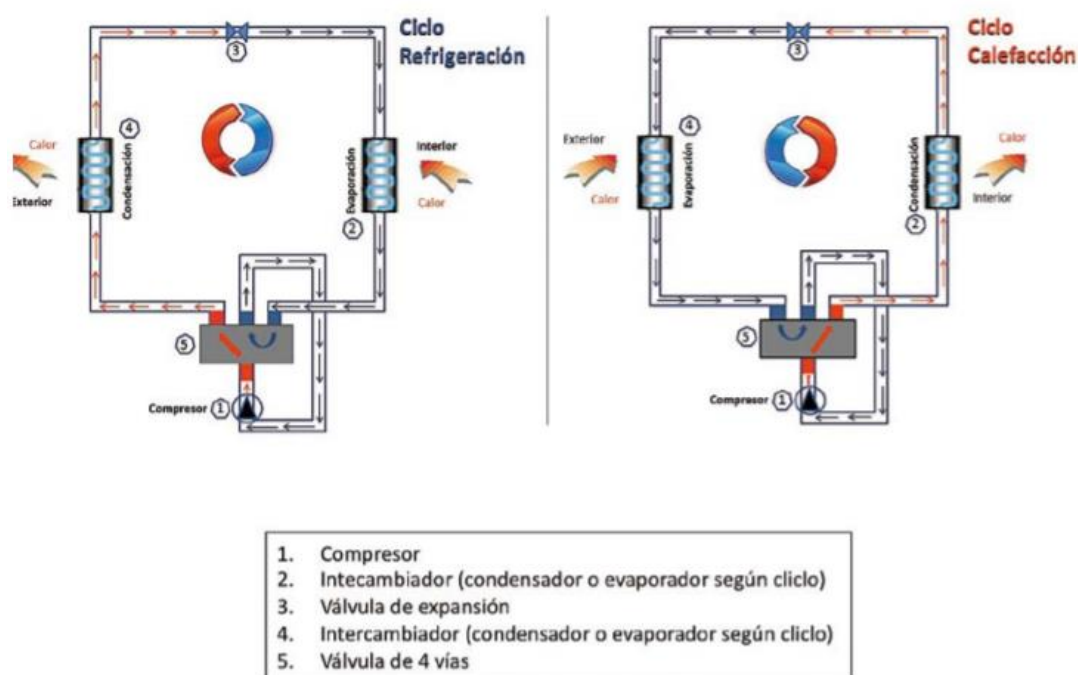


Ilustración 3-17 Esquema de funcionamiento de una bomba de calor reversible. Fuente: Parque de Bombas de Calor en España

Para tener una visión más de usuario, se adjunta la siguiente Ilustración 3-18. En modo refrigeración, la unidad interior refrigera el aire de un local y para ello es necesario que la unidad exterior transmita el calor al exterior. Por el contrario, en el funcionamiento en modo calefacción, es necesario que simultáneamente la unidad exterior capte calor del exterior.



Ilustración 3-18 Esquema nemotécnico de los modos de calefacción y refrigeración. Fuente: Parque de Bombas de Calor en España

3.3.10.4 Sistema de bombas de calor en cascada

Un sistema en cascada consta de dos sistemas independientes de una etapa, donde el sistema con temperatura de evaporación más baja utiliza un intercambiador como condensador para rechazar el calor de éste, utilizando el evaporador del sistema con temperatura de evaporación más alta. Se suelen utilizar refrigerantes diferentes y su aplicación es principalmente para aplicaciones de baja o muy baja temperatura. Se puede ver el esquema en la Ilustración 3-19.

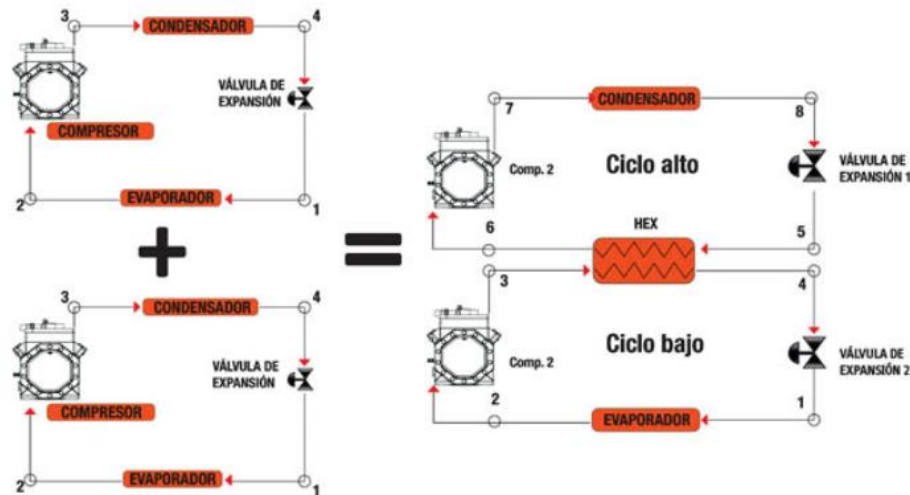


Ilustración 3-19 Sistema en cascada de dos sistemas de una etapa. Fuente: mundohvacr

Uno de los beneficios de estos sistemas es que, al utilizarlo se disminuye la relación de compresión de cada sistema, lo que hace que la eficiencia volumétrica aumente en cada una de las etapas y, por tanto, el sistema en su totalidad sea más eficiente por lo que también se necesita menos desplazamiento de los compresores. La temperatura de descarga disminuye en comparación a un sistema de una sola etapa, que beneficia la temperatura del aceite y a la buena lubricación del compresor.

Para utilizar estos sistemas hay que observar que los compresores estén dentro de los límites de aplicación, que se encuentren bien lubricados y cuidar que no llegue líquido por la succión. También hay que cuidar la temperatura del aceite para que tenga la viscosidad adecuada para que lubrique bien el compresor.

3.3.10.5 Eficiencia energética

La eficiencia de una bomba de calor se mide a través de su coeficiente de prestación (COP). Éste es la relación entre la energía térmica cedida por el sistema (Q) y la energía absorbida por el compresor (W) en unas condiciones específicas de temperatura y con la unidad a plena carga. (10)

$$COP = \frac{Q}{W}$$

Se muestra a continuación (Ilustración 3-20), un ejemplo de bomba de calor agua-agua con intercambio geotérmico, donde son normales ratios elevados: la demanda de un edificio (Q=4 kWt, en azul) se obtiene en sus tres cuartas partes del intercambio energético con el terreno (3 kWt, en verde) y la otra tercera parte (W = 1 kWt) es la energía eléctrica consumida por el compresor de la bomba de calor. De esta forma tenemos un valor de 4 para el COP de la bomba de calor (10).

$$COP = \frac{Q}{W} = \frac{4kWt}{1kWt} = 4$$

Por lo que, en este ejemplo, el total de la energía necesaria para climatizar el edificio solo la cuarta parte proviene de la energía eléctrica.

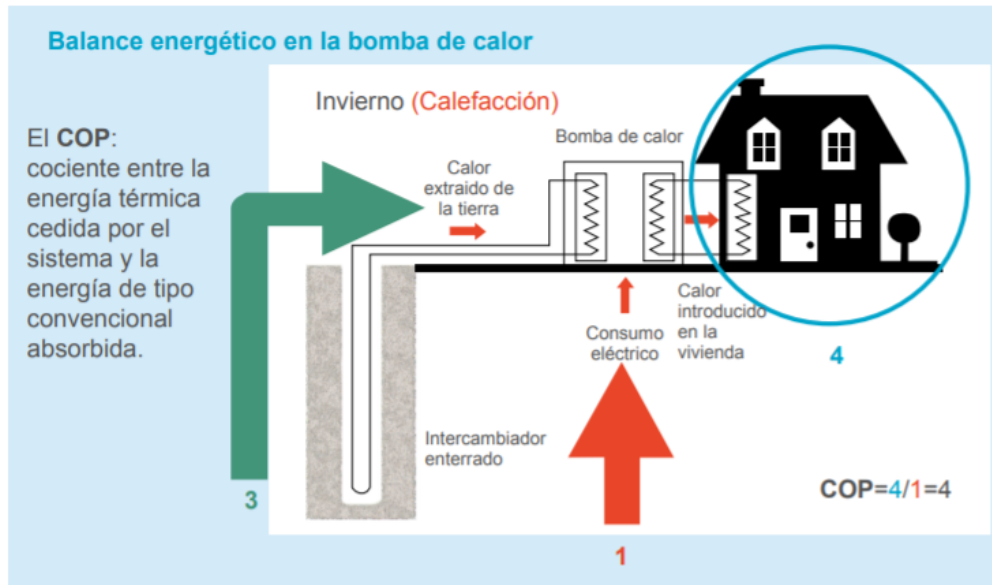


Ilustración 3-20 Balance energético en la bomba de calor. Fuente: Parque de Bombas de Calor en España

3.3.10.6 Usos de la bomba de calor

Los usos dados a las bombas de calor dependen del sector de utilización. Para las viviendas y los sectores de servicios, las aplicaciones más extendidas son la climatización de habitáculos (calefacción y refrigeración, generación de agua caliente sanitaria y climatización de piscinas). En el sector industrial, además de las aplicaciones en climatización de locales, existe potencial de utilización en procesos de secado y destilación, así como para el calentamiento de agua.

4 MINA DE REOCÍN

En relación con la evaluación del potencial geotérmico de baja y muy baja temperatura en la zona de Cantabria y en la existencia de infraestructura de mina en desuso, la Mina de Reocín parece aunar muchas de las características necesarias para formar parte de un sistema de District Heating geotérmico potencial. Ya en 1984 en el informe emitido por el Ministerio de Industria y Energía “Síntesis Almacenes Muy Baja Entalpía” (14) se realizaban investigaciones a lo largo de toda España para investigar el potencial de las aguas subterráneas para utilizarlas como fuente de calor. En este informe se concluye que, para la Unidad de Comillas, el acuífero principal es el Aptense calizo, donde se encuentran situadas las Minas de Reocín. Este acuífero posee una permeabilidad muy buena con una temperatura de formación de 12 a -15 °C. El informe destaca que “este acuífero es un objetivo de explotación geotérmica de primera magnitud”.

Es importante describir las características de la Mina de Reocín y del Pozo de Santa Amelia para poder recabar la información necesaria para aplicar la metodología de este proyecto. Para ello se ha hecho uso principalmente del Fondo Mina de Reocín de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía de Torrelavega (15) y de la información del Instituto Geológico y Minero de España.

4.1 HISTORIA

En este punto del trabajo, procede centrar nuestra atención y dedicar un epígrafe del presente proyecto a la Mina de Reocín, la cual fue uno de los mayores yacimientos de zinc en Europa desde finales del siglo XIX hasta el año 2003, en el cual tiene lugar el cierre de la mina.

El origen de esta explotación tiene lugar en el año 1856 y, al parecer, su descubrimiento fue un hecho fortuito. Fue Jules Hauzeur, quien fuera presidente de la Real Compañía Asturiana de Minas, el que descubrió la explotación en un viaje de camino a Arnao (Asturias). Fue entonces cuando se percató de que muchas de las casas de la zona estaban construidas con zinc como material de construcción.

En un primer momento, fue la Real Compañía Asturiana de Minas la encargada de explotar la mina, empresa la cual tenía mucho poderío por aquella época derivado de su capital mayoritariamente belga. No obstante, en el año 1981, la compañía desaparece, pasando sus activos incluida la mina, en un momento en el cual se empieza a prever su cierre, que finalmente no se produjo hasta el año 2003.

El 4 de noviembre de 2004 fue la fecha en la cual se obtuvo el permiso para la inundación de la mina. El proceso de clausura y restauración de la mina fue un proceso en el cual se realizaron, entre otras, las siguientes actividades:

- Derrumbamiento del inmovilizado junto con la remodelación del terreno.
- Análisis y estudio de los suelos contaminados, para la posterior fertilización y revegetación de los mismos.
- Tratamiento de todo el material de riesgo.

En cuanto al pozo de Santa Amelia, se ha tratado de mantener los edificios y el material, ya que cuentan con un gran valor histórico, optándose por tanto por su conservación.

En lo referente a la explotación, el yacimiento fue explotado mediante el uso de dos técnicas: “a cielo abierto” y “en interior”. Tal y como se ha señalado, del mineral extraído se obtenían concentrados de plomo y, sobre todo, de zinc, siendo una de las principales explotaciones de este mineral en Europa.

4.2 CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO

4.2.1 Características generales de la Mina de Reocín

El yacimiento de Reocín se encuentra en el Municipio de Reocín, en la provincia de Cantabria. Topográficamente se encuentra enclavada en las últimas estribaciones de la Cordillera Cantábrica, muy próxima a la costa, siendo el relieve suave y con cotas que no llegan a los 300 metros en las proximidades de la mina.

En lo referente a los accesos, el principal se hace desde la Autovía del Cantábrico A-8 – E-70, en las proximidades de Puente San Miguel. Se extiende sobre una superficie de 3 kilómetros cuadrados, con 3.300 metros de longitud y 800 metros de anchura media (16).



Ilustración 4-1 Situación mina de Reocín y principales ríos de Cantabria. Fuente: karst de la mina de Reocin

Respecto al clima, en Cantabria se presenta un clima atlántico, con veranos e inviernos suaves, humedad alta y precipitaciones anuales medias de 1.200 mm/año. La zona costera tiene una topografía suave que, unido a una lluvia repartida a lo largo del año, produce una fuerte infiltración, a través de una Karst muy desarrollado sobre las rocas calcáreas mesozoicas.

La Mina de Reocín es un yacimiento estratiforme, de blenda, galena y marcasita encajado en dolomías ankeríticas de edad Gargasiense (Aptiense Superior). El Gargasiense está compuesto por una formación calcárea bioclástica (casi totalmente dolomitizada en la mina), con potencia de dolomitización. El mucho del yacimiento se encuentra marcado por una dolomía margosa, tránsito de la caliza margosa de edad Bedouliense al Gargasiense.

El yacimiento tiene una dirección N-60-70° y sus dimensiones son 3.500m x 800m. aproximadamente, con una potencia mineralizada que oscila entre 2 y 40 metros, y un buzamiento medio de 23°N.

Dadas las características del yacimiento, se puede dividir en tres zonas:

- **ZONA CENTRO.** Comprende tres niveles mineralizados que se denominan Capa Sur, Capa Norte y Tercera Capa, con potencias que pueden variar entre 2 y 10m. Están situados dentro de los 40m inferiores del paquete dolomítico gargasiense, formando así una unidad mineralizada de 500x700m y 40-45m de potencia con mineralizaciones estratoides separadas por bancos estériles de arrecifes biostrómicos dolomitizados.

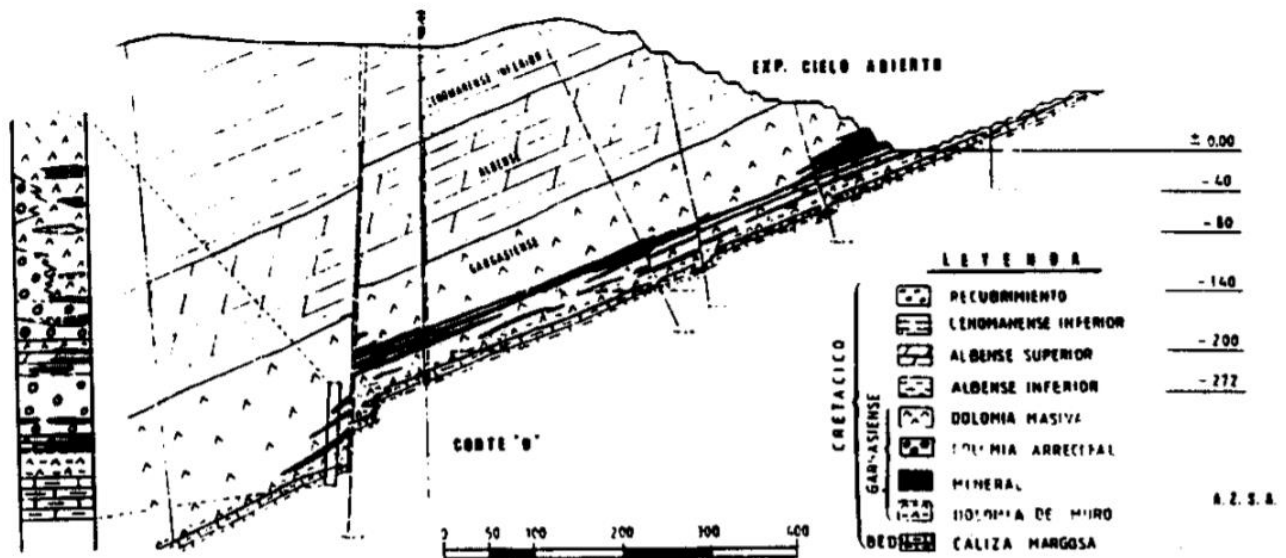


Ilustración 4-2 Corte zona centro mina de Reocín. Fuente: karst de la mina de Reocín

- **ZONA OESTE:** Una sola “capa” mineralizada estratiforme y continua de unos 1.800 metros de longitud denominada “Capa Sur”, que se encuentra en el muro de la dolomía gargasiense que alcanza una potencia de 70-80 metros, estando superpuesta a la “dolomía de muro” y separada de ésta por una salbanda margo-arcillosa milimétrica en ocasiones mineralizada.

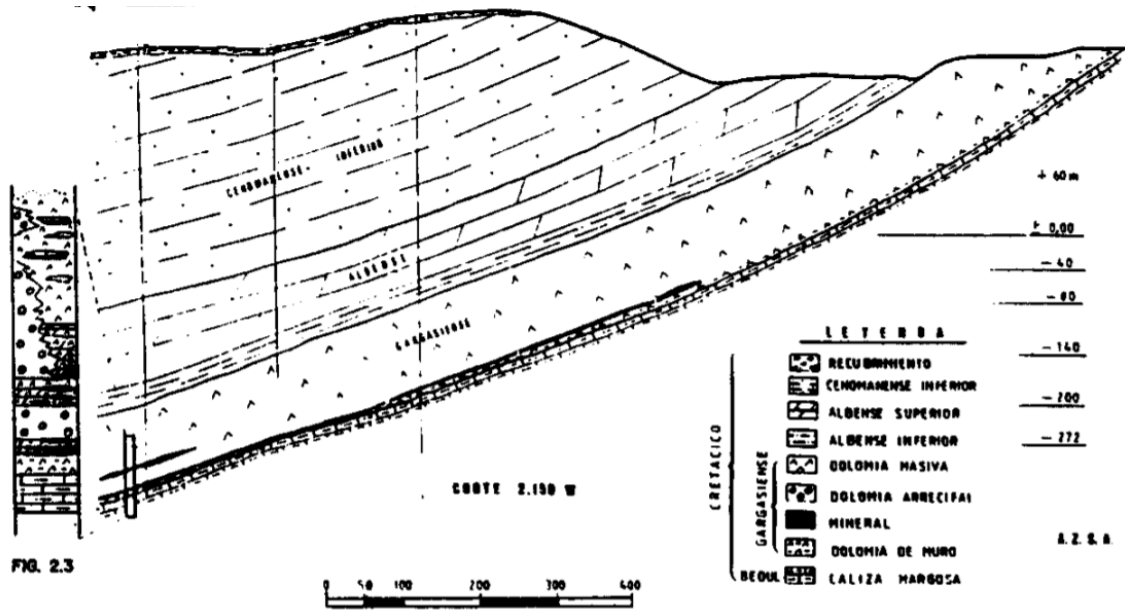


Ilustración 4-3 Corte Mina de Reocín. Fuente: Karst de la mina de Reocin

- ZONA ESTE:** Esta zona presenta características morfológicas y sedimentarias distintas a las anteriores. La potencia del gargasiense dolomítico aumenta considerablemente (200-300 metros), con la aparición de lentejones calizos. Se trata de una mineralización irregular, lenticular, estratoide, relleno de brechas y escombros arrecifales, en las que la blenda aparece diseminada o en los bordes de brechas dolomíticas. Los lentejones mineralizados están situados de 10 a 20 metros por encima de la dolomía de muro, y con potencias entre 2 y 40 metros, y separaciones variables entre ellos. La dolomía de muro es más potente que en las otras zonas (10-12 metros frente a 7-8 metros) y no existe salbanda arcillosa en contacto con la mineralización.

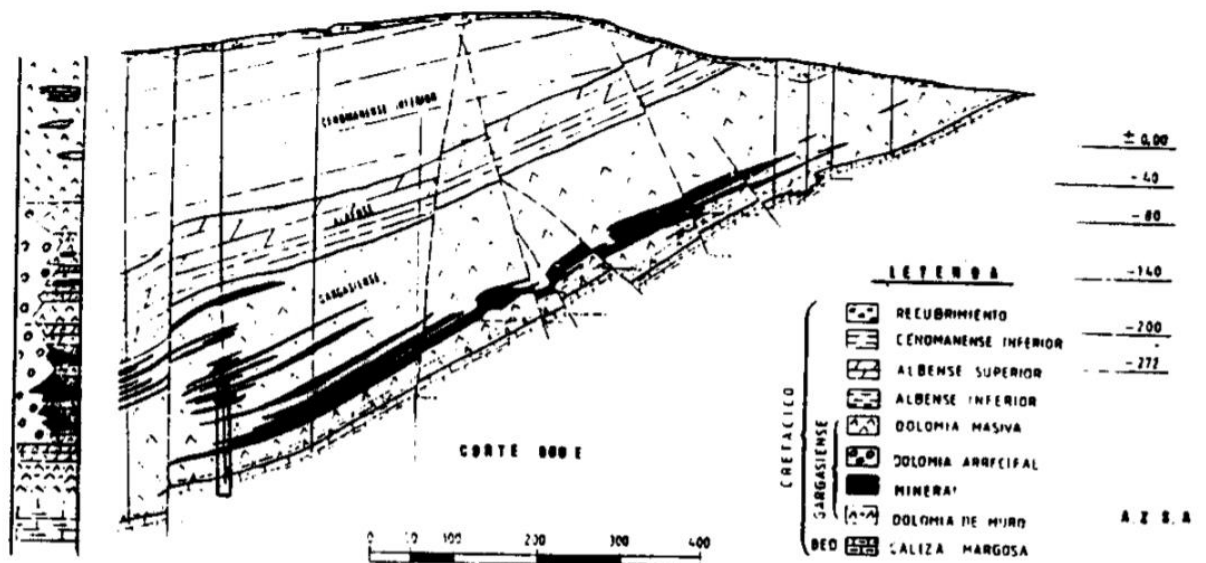


Ilustración 4-4 Corte mina de Reocín. Fuente: karst mina de Reocín

Existe una cuarta zona, denominada FLEXIÓN 3E (por J.B.SANCHEZ (16)), definida como una estructura E-0, muy karstificada, que apareció en la explotación a cielo abierto y continuó en profundidad con mineralización secundaria de origen kárstico.

La mineralización primaria del yacimiento está constituida por Blenda (SZn), Galena (SPb), Pirita-Marcasita (SFe), mena encajada en una ganga de dolomías con dolomita, calcita y ankerita. Y una mineralización secundaria de Smithsonita (CO_3Zn), Cerusita (COPb), Goethita ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$), Melanterita ($\text{FeSO}_4\text{H}_2\text{O}$) y Epsomita ($\text{MgSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$), que predominaba en los afloramientos de la mina.

4.2.2 Planos

A continuación, se muestran diferentes planos de la Mina de Reocín.

En el primero (Ilustración 4-5), podemos ver un Plano general de la Mina de Reocín a escala 1:5000



Ilustración 4-5 Plano general Mina de Reocín. Fuente: Fondo Mina de Reocín. EPIME

El siguiente (Ilustración 4-6), nos muestra un corte de la mina de Reocín por el Pozo Santa Amelia con los diferentes niveles.

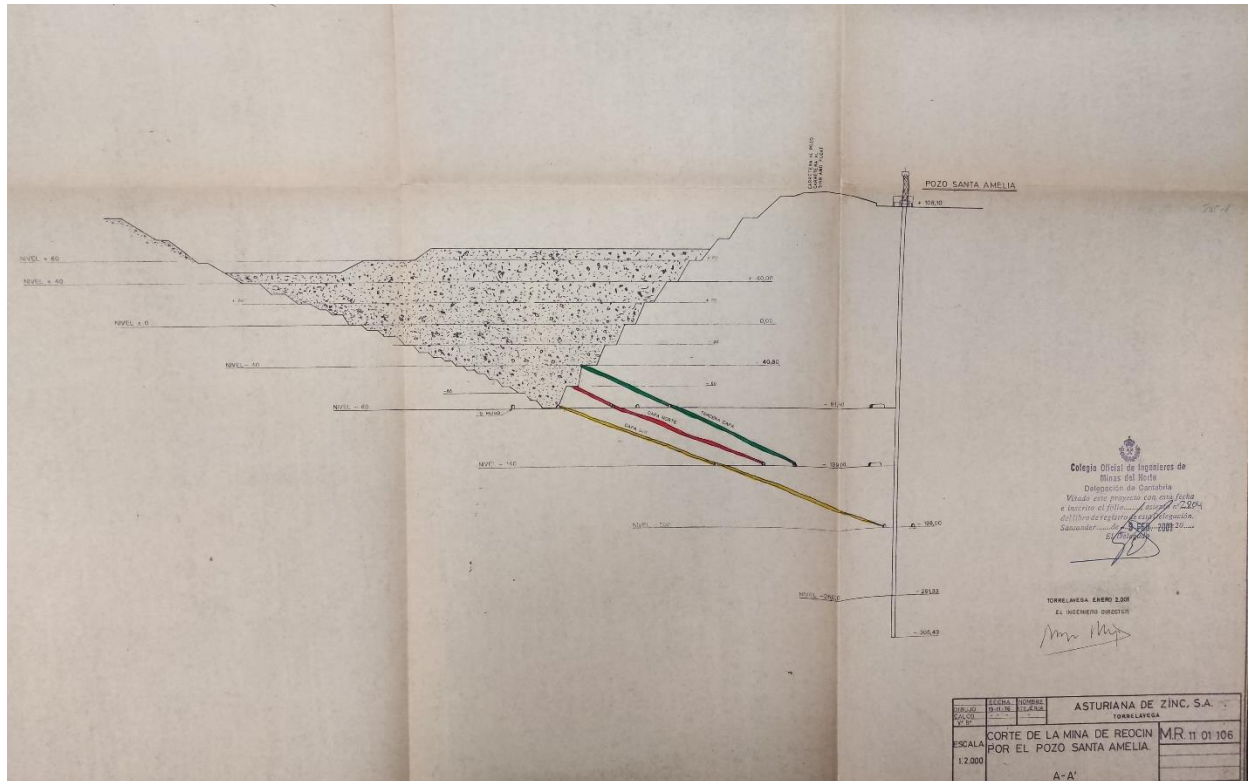


Ilustración 4-6 Corte Mina de Reocín por el pozo Santa Amelia. Fuente: Fondo Mina de Reocín. EPIME

El tercer plano (Ilustración 4-7), muestra tres perfiles de la explotación a cielo abierto de la Mina de Reocín, pertenecientes al año 2001, a escala 1:1000. Se muestran en color azul las labores realizadas en el año 2000, así como en naranja las labores proyectadas para el año 2001.

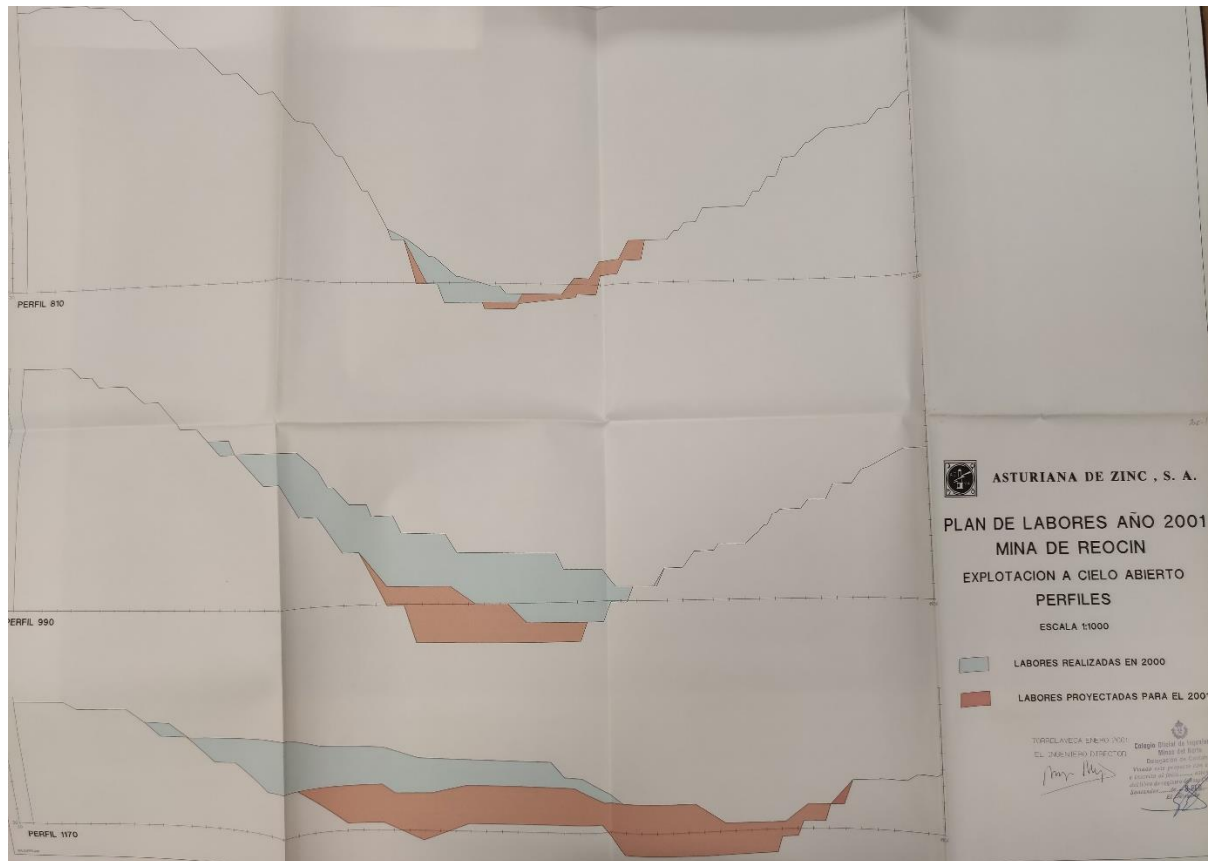


Ilustración 4-7 Plano de labores Mina de Reocín. Fuente: Fondo Mina de Reocín. EPIME

El siguiente plano de la Ilustración 4-8, pertenece a otro plan de labores del año 2001, perteneciente a la explotación a cielo abierto, a escala 1:1000.

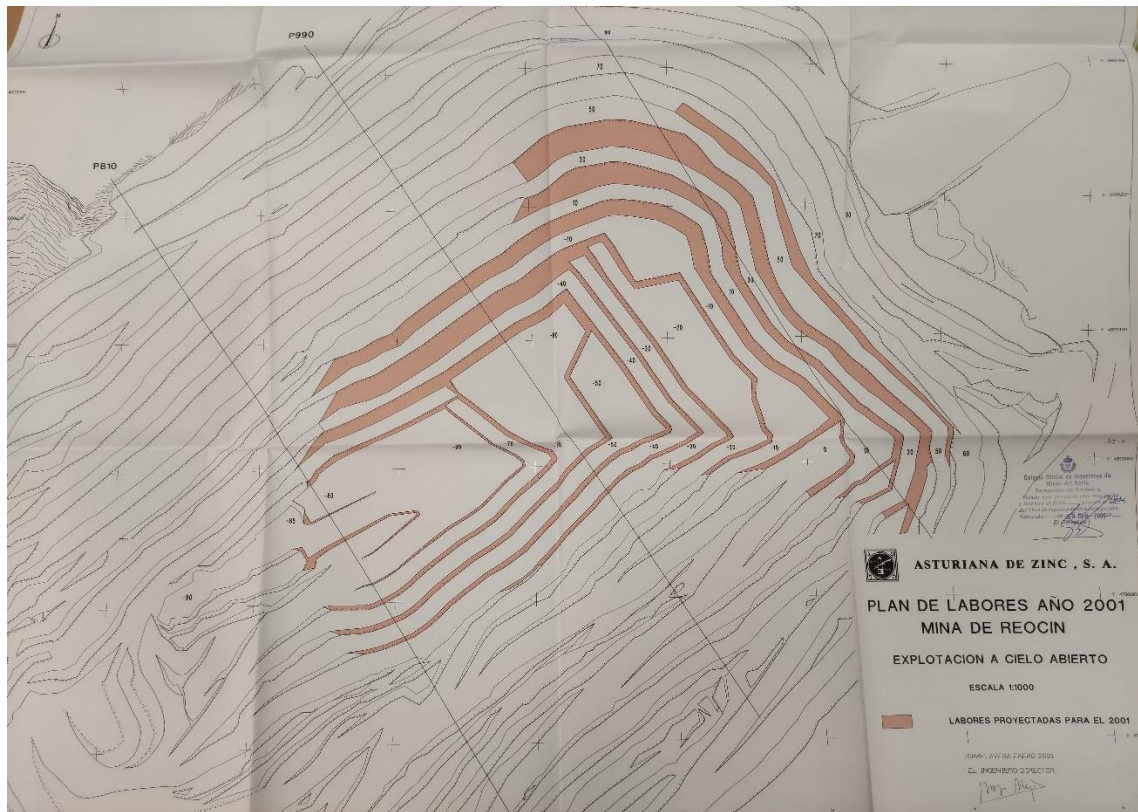


Ilustración 4-8 Plan de labores. Explotación a cielo abierto. Fuente: Fondo Mina de Reocín. EPIME

A continuación, la Ilustración 4-9 pertenece a la explotación a cielo abierto de la escombrera, perteneciente también al año 2001. En este caso, la escala elegida es 1:2000.

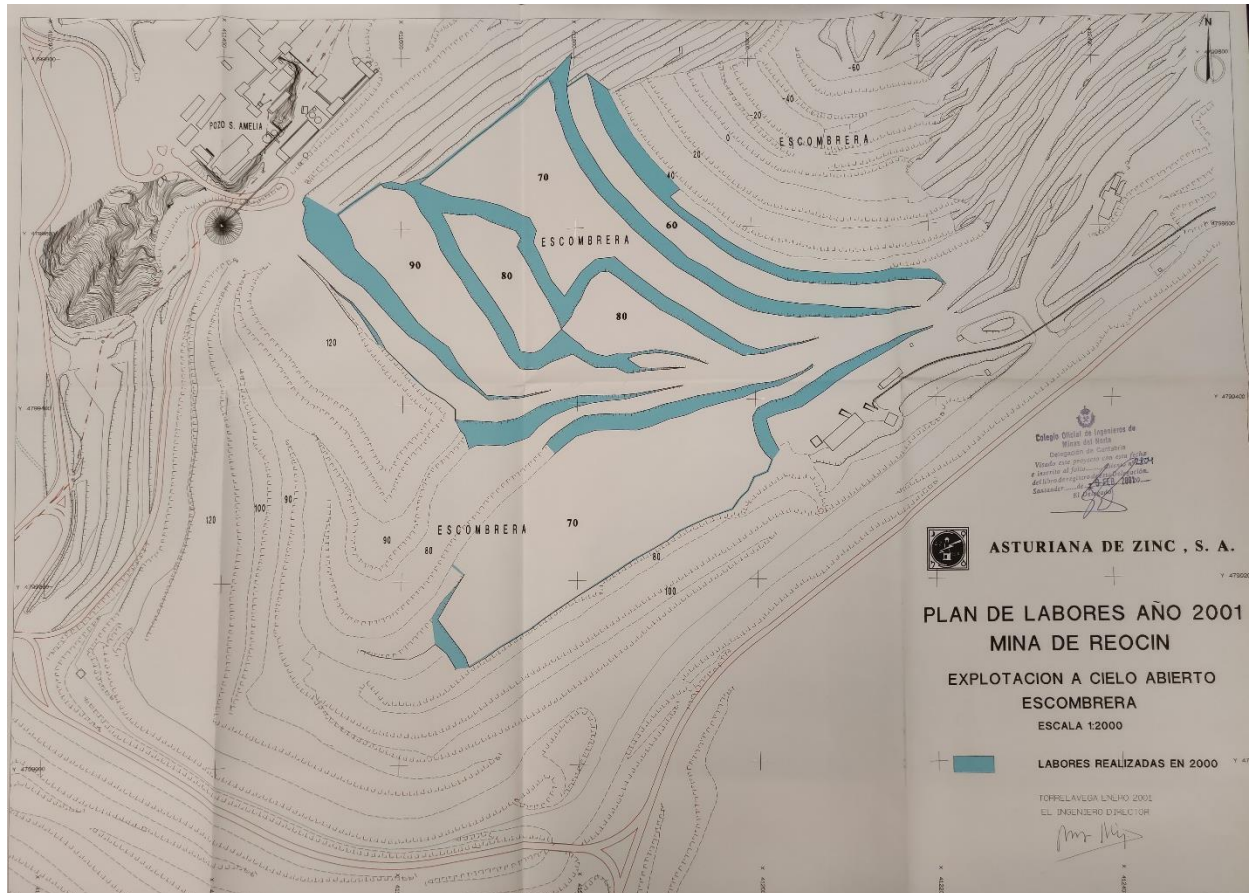


Ilustración 4-9 Plan de labores. Explotación a cielo abierto Escombrera. Fuente: Fondo Mina de Reocín. EPIME

4.2.3 Características del Pozo de Santa Amelia

Para la evaluación del potencial geotérmico del Pozo de Santa Amelia es necesario conocer las características concretas del subsuelo en el que se encuentra el pozo y por donde discurren los acuíferos subterráneos.

Para ello se ha consultado en primer lugar el MAGNA 50 (17), que es el Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 que representa los materiales (rocas y sedimentos) que aparecen en la superficie terrestre. En la Ilustración 4-10, se puede observar el detalle de la geología de la zona de la Mina de Reocín. Teniendo en cuenta la leyenda de la Ilustración 4-11, en la Mina de Reocín de manera superficial se cuenta con calcarenitas, terraza 3 y cubetas de descalcificación.

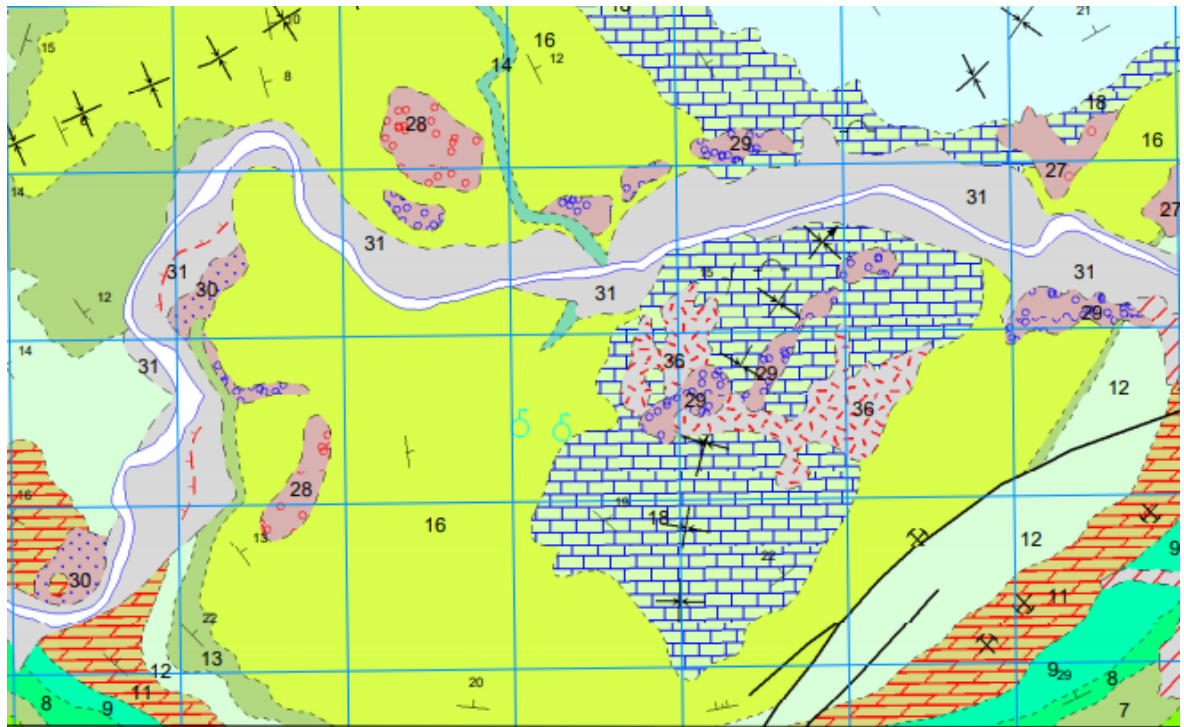


Ilustración 4-10 Detalle del Mapa Geológico correspondiente a la Mina de Reocín. Fuente: MAGMA50

LEYENDA

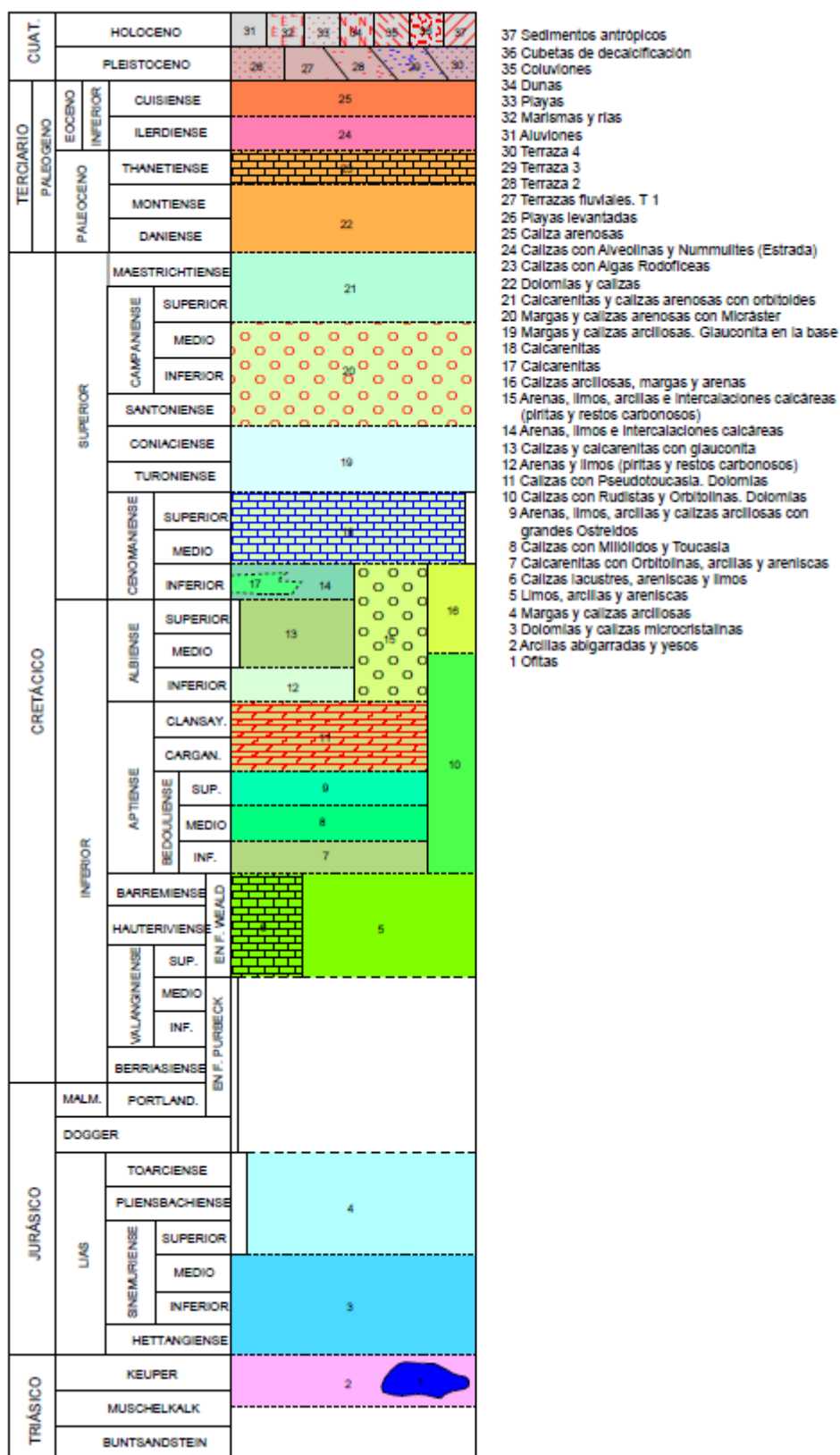


Ilustración 4-11 Leyenda del Mapa Geológico. Fuente: MAGMA50

Para ser más precisos en los cálculos se seleccionan del Fondo Mina de Reocín los sondeos realizados en el año 2001 en el Pozo de Santa Amelia.

La Tabla 4-1 nos muestra el sondeo de la Visera-5, perteneciente a la Mina de Reocín, cuyas coordenadas son N(4.799.585,801), E(411.252,898). Su cota (-216,691). Inclinación (+34,90°). Y dirección (366,23789).

Este sondeo se realizó entre las fechas 19-06-2001 a 21-06-2001

Tabla 4-1 Sondeo Visera5. Perfil 240. Fuente: Fondo de Mina de Reocín. EPIME

TRAMO			DESCRIPCIÓN
de	a		
0	12,6	H1	Caliza margosa
12,6	22,9	H-2	Dolomía de muro
22,9	23,4	H-2	Dolomía de muro con impregnaciones de blenda
23,4	25,9	H-2	Dolomía de muro
25,9	28,1	H-4	Dolomía beige con impregnaciones de blenda dispersas
28,1	28,5	C-5	Blenda con margasita y algo de dolomía dispersa
28,5	30,25	C-5	Blenda
30,25	32	C-5	Blenda
32	33,5	H-5	Dolomía gris clara porosa con impregnaciones de blenda
33,5	37,5	H-5	Dolomía gris clara porosa bioclástica

El siguiente sondeo, reflejado en la Tabla 4-2, nos muestra el sondeo de la Visera-4, perteneciente a la Mina de Reocín, de coordenadas N(4.799.598,090), E(411.259,745). Su cota (-271,478). Inclinación (43,41°). Y dirección (366,56439).

Este sondeo se realizó entre las fechas 14-06-2001 a 15-06-2001.

Tabla 4-2 Sondeo Visera5. Perfil 225. Fuente: Fondo de Mina de Reocín. EPIME

TRAMO		% RECUP		DESCRIPCIÓN
de	a			
0	8,8		H-1	Caliza margosa
8,8	21,3		H-2	Dolomía de muro. Pátinas de óxido en las juntas
21,3	22,7		H-4	Dolomía beige clara
22,7	24		H-4	Dolomía beige clara, brechificada, con dolomía y blenda
24	26		C-5	Blenda
26	28,2		C-5	Blenda
28,2	30,5	57	H-4	Dolomía beige clara. Pátinas de óxido en las juntas
30,5	31		H-5	Dolomía gris clara porosa bioclástica rellenos
31	33,5		H-5	Dolomía gris clara porosa bioclástica

A continuación, la Tabla 4-3 nos muestra el sondeo de la visera-4 perteneciente a la Mina de Reocín, de coordenadas N(4.799.599,366), E(411.259,645). Su cota (-219,366). Inclinación (13,61°). Y dirección (366,39979).

Tabla 4-3 Sondeo Visera4 Min de Reocín. Perfil 225. Fuente: Fondo Mina de Reocín. EPIME

TRAMO		DESCRIPCIÓN
-------	--	-------------

de	a		
0	17,2	H-1	Caliza margosa
17,2	35	H-2	Dolomía de muro
35	36,25	H-4	Dolomía beige con rellenos pelíticos y algo de blenda
36,25	39	C-5	Marcasita con algunos cantos de blenda
39	40,5	C-5	Blenda con algún resto de dolomía H-4
40,5	41,8	C-5	Blenda con algún resto de dolomía H-5. Al techo areniscas con lignitos
41,8	46	H-5	Dolomía gris clara porosa
46	47	H-5	Dolomía gris clara porosa con pátinas de óxidos en los planos de rotura (agua)
47	47,5		Idem, con tapizado de blenda en algunos de los poros
47,5	48		Dolomía clara porosa con blenda tapizando algunos poros
48	50		Dolomía clara porosa con blenda tapizando algunos poros
50	54		Dolomía gris clara porosa

Por último, la Tabla 4-4 nos muestra el sondeo de la visera-4 perteneciente a la Mina de Reocín, de coordenadas N(4.799.612,902), E(411.269,076). Su cota (-218,401). Inclinación (+90°).

Tabla 4-4 Sondeo visera4 Mina de Reocín. Perfil 210. Fuente: Fondo Mina de Reocín. EPIME

TRAMO			DESCRIPCIÓN
de	a		
0	8	H-1	Caliza margosa
8	15,2	H-2	Dolomía de muro
15,2	15,6	H-2	Dolomía de muro con impregnaciones de blenda
15,6	17,2	H-2	Dolomía de muro
17,2	18,8	C-5	Dolomía pelítica y blenda
18,8	19,6	H-4	Dolomía beige con fisuras pelíticas y de marcasita
19,6	20,6	C-5	Dolomía H-4 con blenda y marcasita
20,6	22	H-4	Dolomía beige H-4
22	23,5	H-4	Dolomía beige con fisuras y bordes de blenda
23,5	26	H-4	Dolomía beige H-4 pátinas de óxidos en los planos de fractura del testigo
26	33,5	H-5	dolomía gris clara porosa bioclástica, pátinas de óxidos en los planos de fractura del tesgigo
33,5	34		Dolomía gris bioclástica porosa con impregnaciones de marcasita y algo de blenda
34	38		Dolomía clara bioclástica algo porosa
38	41		Piedras sueltas. Relleno de rampa. Minado

Pozo de Santa Amelia

El yacimiento de la Mina de Reocín, a lo largo de su historia fue explotado a cielo abierto y en interior. En este estudio, vamos a centrarnos en la explotación de interior para adentrarnos en el Pozo de Santa Amelia.

La explotación de interior, a la que se accedía a través de dicho pozo (1939) y la rampa Jorge Valdés (1985), se dividía en tres zonas:

- Pilares y Punta de Lanza en el oeste
- Visera en el centro
- Barrendera al este.

Por la estructura del criadero, el método que se desarrolló para su explotación fue el de huecos y pilares.

Una vez se extraía el mineral, se procedía a su tratamiento para obtener concentrados de zinc y plomo, pasando para ello por diferentes etapas:

- Trituración: fragmentación del mineral en diferentes tamaños que iban desde 150 mm (trituration primaria) a 80 mm (trituration secundaria) y tamaños inferiores a 20 mm (trituration terciaria). El mineral triturado se transportaba en cintas y se procedía a su molienda.
- Molienda: se realizaba mediante dos molinos, uno de barras de circuito abierto y otro de bolas de circuito cerrado por los que el mineral quedaba reducido a polvo. El producto resultante se enviaba a la flotación.
- Flotación: el mineral era conducido al circuito de galena, en donde se desbastaba para pasar posteriormente al tanque de espesado, finalizándose con el filtrado en prensa, en que se obtenía el concentrado en plomo. El mineral que se rechazaba iba al circuito de blenda para su posterior desbaste y espesado y así obtener el zinc.

Al terminar se realizaba el tratamiento de estériles procedentes de la flotación, que consistía en bombearlos a un tanque y espesarlos y de allí enviarlos a la planta de estériles o al dique.

Se adjunta a continuación una imagen del pozo inicial de Santa Amelia en la Ilustración 4-12. Podemos observar en la leyenda la profundidad de dicho pozo de 336 metros, así como las diferentes capas que atraviesa el pozo:

- Arenisca: 43 metros
- Margas: 54,50 metros
- Dolomía: 204 metros
- Blenda: 13,50 metros
- Caliza: 21 metros

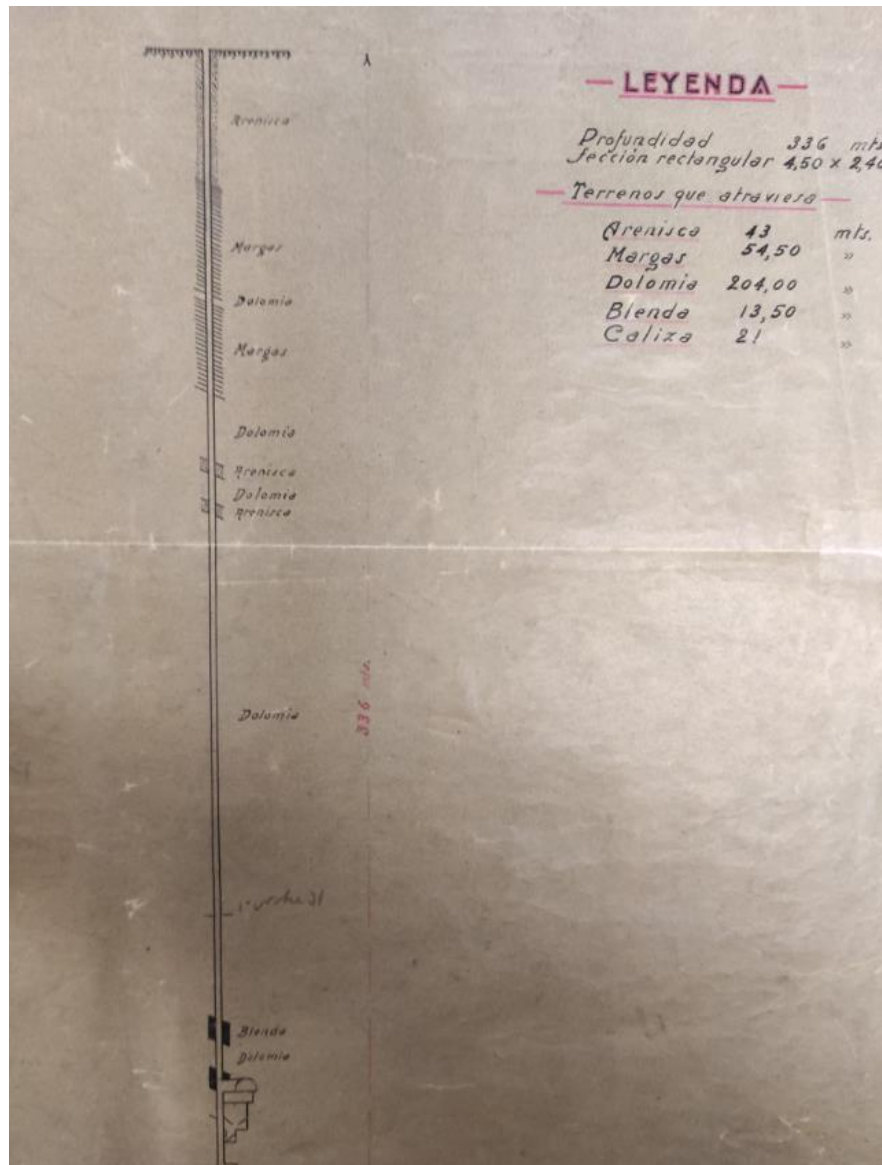


Ilustración 4-12 Pozo Santa Amelia previo a la profundización. Fuente: Fondo Mina Reocín. EPIME

Posteriormente, se realizó un proyecto en el que se aumentara la profundidad. Con el objeto de facilitar la explotación del Nivel 21, se dio un sondeo vertical en la antigua cámara de bombas del Nivel 20, para un reconocimiento detallado de la estratigrafía que habrá de atravesar dicha profundización.

Este sondeo dista del pozo unos 18 metros, por lo que la variación lateral de facios sería mínima, y están orientados los ejes, de pozo y sondeo, casi con la línea de máxima pendiente.

La estratigrafía la dividimos en tramos que titulamos desde la A a la J, en sentido descendente, desde el final del pozo anterior, hasta la profundidad añadida de 141,6 metros más.

Potencia 10m. Dolomía de muro. Azul-Negra. Roca consistente

Potencia 10m. Caliza algo margosa. Azulada. Roca consistente.

Potencia 27m. Caliza margosa azulada. Menos consistente.

Potencia 8,5m. Caliza margosa. Muy compacta, en especial la parte inferior.

Potencia 3,10m. Margas. Relativamente consistente en periodos no muy largos de tiempo.

Potencia 6,40m. Margas negras muy pelíticas. Roca poco consistente.

Potencia 26m. Margas. Relativamente consistentes en periodos no muy largos.

Potencia 4m. Areniscas. Roca compacta.

Potencia 6,30m. Margas. No muy consistentes.

Potencia cortada hasta el final del sondeo 40,30m. Calizas. Roca consistente.

De esta forma, el pozo alcanzará una profundidad total finalde 477, 6 metros.

En la Ilustración 4-13, se muestra una imagen de la profundización del pozo.

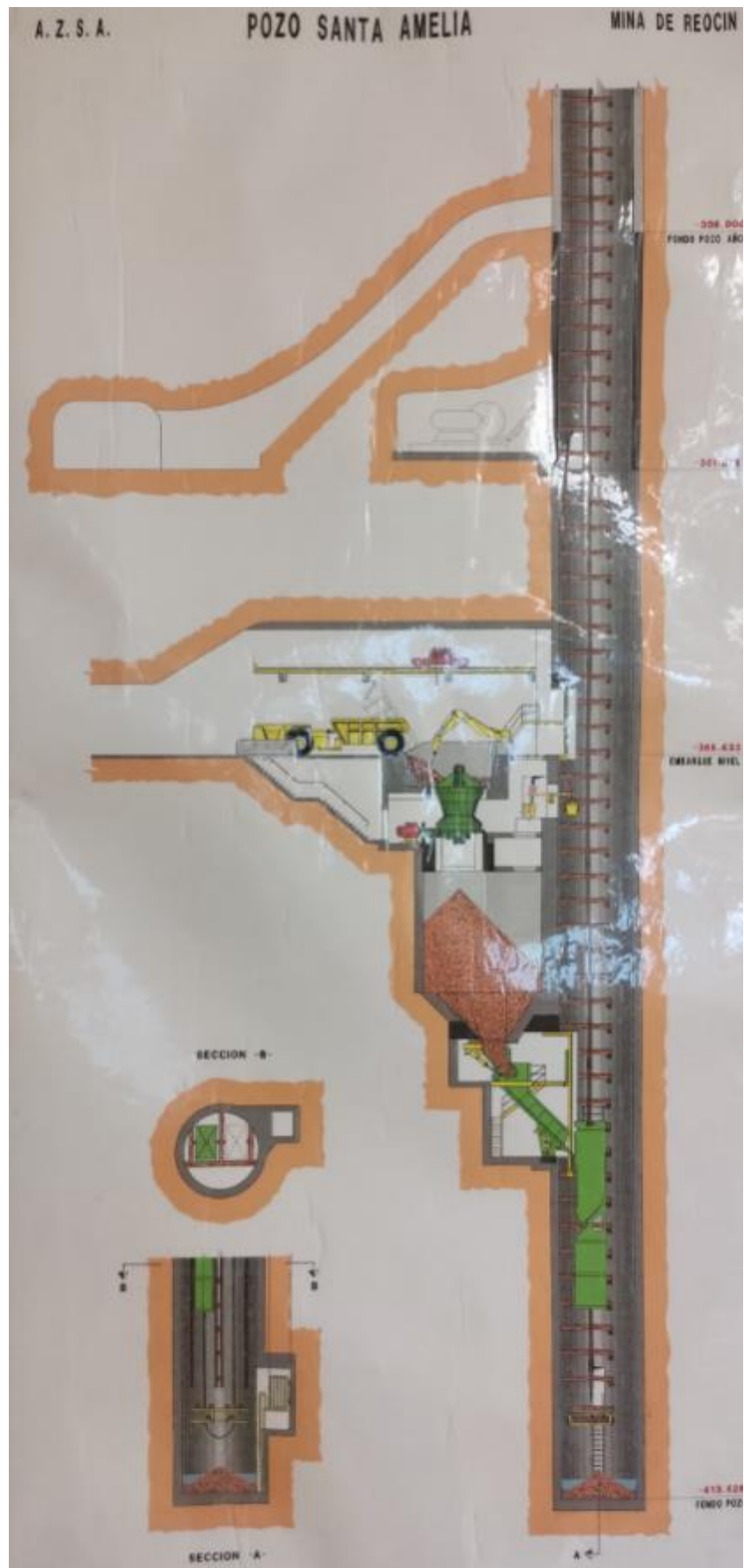


Ilustración 4-13 Profundización Pozo Santa Amelia. Fuente: Fondo Mina Reocin. EPIME

A continuación, se adjunta la Tabla 4-5, donde se mostrará las diferentes formaciones rocosas que atraviesa el pozo, así como sus densidades, calor específico y conductividad para su posterior aplicación en los resultados. La capacidad de extracción de calor podemos observarla en la Tabla 5-1.

Tabla 4-5 Rocas que atraviesa el pozo. Densidad y Cap.calorífica de éstas. Fuente: Fondo Mina Reocín. EPIME

ROCA		DENSIDAD (kg/m ³)	CAPACIDAD DE EXTRACCIÓN DE CALOR (W/m)	CAPACIDAD CALORÍFICA (J/kg°C)	CONDUCTIVIDAD (W/m°C)
ARENISCA	43+4 = 47m	2500	72	640 – 1040	2,3
MARGA	54,50+41,8 = 96,3m	1200	60	1833-1916	2,1
DOLOMÍA	204+10 = 214m	2800	65	920	2,2
BLENDA	13,50 m	4000	60	525-550	2,3
CALIZA	21+85,8 = 106,8m	1900	65	1105-1263	2,8

5 METODOLOGÍA

Se basa el estudio de la metodología en evaluar la posibilidad de instalar un sistema de District Heating utilizando la infraestructura abandonada de la mina de Reocín para abastecer de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) a poblaciones dentro del municipio de Reocín. Las características del emplazamiento del sistema se desarrollan en el capítulo anterior “Mina de Reocín, Pozo de Santa Amelia”.

En este trabajo no se va a evaluar el potencial de refrigeración ya que, debido a la zona climática donde se encuentra Reocín, las necesidades de refrigeración son muy bajas. En la zona climática del Atlántico Norte, el consumo de refrigeración supone alrededor del 0.1% del consumo de una vivienda.

La metodología se divide en dos partes principales. Primero se realizará una evaluación del potencial geotérmico de la zona de emplazamiento. Se evaluarán aquí las características esenciales para los sistemas geotérmicos del terreno, subsuelo y acuíferos. De esta manera, se obtendrá una idea preliminar del potencial del emplazamiento para ser utilizado como sistema District Heating geotérmico. Después, se realizará un dimensionamiento estimado del sistema de bomba de calor geotérmica, donde se analizarán las necesidades de calefacción y ACS del emplazamiento seleccionado y se dimensionará el caudal de agua necesario para suplirlas.

5.1 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO DE LA ZONA

Como se ha explicado en el estado del arte, existen diferentes metodologías para evaluar el potencial geotérmico de una zona en concreto.

Este trabajo se va a centrar en una metodología concreta indicada para recursos de muy baja o baja temperatura, ya que es el tipo de recurso que se va a utilizar para el objetivo del trabajo.

5.1.1 Evaluación preliminar de la potencia térmica superficial

Los recursos geotérmicos de muy baja temperatura contenidos en el subsuelo se pueden extraer y utilizar gracias a la bomba de calor y dependiendo de la capacidad de ceder calor del tipo de roca contenida en el subsuelo. Esta capacidad dependerá de las propiedades térmicas de las rocas y de multitud de parámetros físicos y geológicos.

Estas propiedades normalmente se obtienen mediante ensayos de respuesta térmica en sondeos perforados, pero en estudios preliminares como éste, no se consideran. En estos estudios preliminares se utilizan valores normalizados de capacidad de extracción de calor en función del tipo de roca (Tabla 5-1).

Tabla 5-1 Capacidad de extracción de calor según el tipo de roca. Fuente: IDAE

Tipo de roca (litologías)	Capacidad de extracción de calor (W/m)
Gravas y arenas secas	< 25
Arcillas y margas húmedas	35-50
Calizas y dolomías masivas	55-70
Areniscas	65-80
Granitos	68-85

Rocas básicas (basaltos)	40-65
Rocas metamórficas (gneis)	70-85
Gravas y arenas saturadas de agua	65-80
Gravas y arenas con gran circulación de agua	80-100

Con esta información junto con la información del sondeo del emplazamiento de estudio se establece un rango estimado de potencial térmico superficial. Este potencial térmico puede dar una idea del potencial térmico de la instalación.

Para obtener el potencial térmico superficial de extracción de calor se analizará el mapa litológico del escenario de estudio para localizar el tipo de roca y su nivel de permeabilidad. Esta estimación se realizará a través de una media ponderada con la profundidad y tipo de roca teniendo en cuenta los rangos de capacidad de extracción de cada tipo de roca representados en la tabla.

5.1.2 Estimación de los Recursos de Base Accesible (RBA)

Como se comentó en el estado del arte, la estimación de los Recursos de Base Accesible (RBA) se puede considerar como el límite máximo de potencial geotérmico existente en el subsuelo. La estimación de RBA se realizará de acuerdo a la profundidad de trabajo del escenario seleccionado. Para la estimación se utiliza la fórmula ya expuesta en el capítulo relativo a evaluación del potencial geotérmico del estado del arte (10):

$$RBA_i = V_i \cdot \rho_i \cdot C_i \cdot \frac{T_i - T_0}{2}$$

Donde:

RBA_i : Recurso de base accesible a la profundidad i (Julios)

V_i : Volumen del terreno desde la superficie hasta la profundidad i (m^3).

ρ_i : Densidad media de la columna rocosa hasta la profundidad i (Kg/m^3).

C_i : Capacidad calorífica media de la columna rocosa hasta la profundidad i (Julios/ Kg $^{\circ}C$)

T_i : Temperatura a la profundidad i ($^{\circ}C$).

T_0 : Temperatura media anual en su superficie ($^{\circ}C$).

En zonas donde la información es inadecuada, se puede estimar la temperatura de almacén mediante geotermometrías químicas. Requiere fijar un techo y una base de almacén y suponer que las aguas estén en equilibrio con la roca.

En base a esta ecuación, se debe realizar un análisis de cada uno de los parámetros:

5.1.2.1 Obtención del volumen del terreno desde la superficie hasta la profundidad del escenario.

El primer paso es cuantificar la superficie a tener en cuenta dentro del escenario seleccionado. Una vez se estime la superficie, se obtendrá el volumen multiplicando por la profundidad a la que se realice el cálculo.

5.1.2.2 Densidad media de la columna rocosa hasta la profundidad del escenario.

Para el cálculo de la densidad media de la columna rocosa se deberá realizar un análisis del tipo de roca y la profundidad de cada una de las capas que forman la columna

rocosa. Conociendo la densidad de cada tipo de roca, se calculará una media ponderada dependiendo de la profundidad de cada capa para obtener la densidad media de la columna rocosa.

5.1.2.3 Capacidad calorífica media de la columna rocosa hasta la profundidad del escenario.

Al igual que el cálculo de la densidad media de la columna rocosa, se calculará la capacidad calorífica media ponderada en función de la capacidad calorífica de cada tipo de roca y de su profundidad.

5.1.2.4 Temperatura a la profundidad de escenario.

La variación de la temperatura con la profundidad se estima en 3º cada 100 metros, por lo que la temperatura a la profundidad del escenario se obtendrá según (10):

$$T_i = T_0 + i \cdot 0.03$$

Siendo i la profundidad en metros.

5.1.2.5 Temperatura media anual en superficie

La temperatura anual en la superficie se calculará a través de la medida de temperaturas históricas en el área donde se localiza el escenario.

5.1.3 Evaluación de recursos y calor almacenado

Para el cálculo del calor almacenado se ha seguido el método volumétrico explicado en el estado del arte. Para ello es necesario subdividir el escenario de estudio en zonas diferentes, en función de sus condiciones geológicas. En vertical, la separación de las diferentes zonas se realizará por unidades litológicas a las que se les atribuya una potencia, porosidad y temperatura medias. Si en el escenario de estudio la información geológica, térmica o de sondeos es insuficiente se puede estimar la temperatura del almacén mediante geotermometrías químicas, suponiendo un techo y una base al almacén y suponiendo que las aguas están en equilibrio térmico con la roca.

5.1.3.1 Estimación del calor almacenado

Siguiendo la ecuación (10):

$$H_0 = [(1 - \phi)\rho_r \cdot C_r + \phi \cdot \rho_a \cdot C_a] \cdot (T_t - T_0) \cdot S \cdot e$$

En la que:

H_0 : calor almacenado en la formación (Julios)

ϕ : porosidad eficaz de la formación (adimensional)

ρ_r : densidad de la roca almacén (kg/m³)

C_r : capacidad calorífica de la formación (Julios/kg°C)

ρ_a : densidad del agua de formación (1.000 kg/m³)

C_a : Capacidad calorífica del agua de formación 4.186 Julios/kg °C

T_t : temperatura media del almacén

T_0 : temperatura media anual en superficie

S superficie en planta del área considerada del almacén

e : espesor medio útil del almacén geotérmico. Si no se tienen datos se utiliza el mayor conocido de la formación geológica.

En base a esta ecuación se debe realizar un análisis de cada uno de los parámetros:

- Porosidad eficaz de la formación.
Se obtienen los valores de porosidad aproximada de la zona donde se encuentra el escenario de estudio en base al informe del IDAE.
- Densidad de la roca almacén.
Se obtendrá la densidad de la roca almacén en función del tipo de roca que se localice en la profundidad a la que se encuentre el acuífero.
- Capacidad calorífica de la formación.
Para la capacidad calorífica se seleccionará la capacidad calorífica de la roca situada en el almacén.
- Densidad del agua de formación.
Se utiliza como valor por defecto 1.000 kg/m³ si no se tiene más información.
- Capacidad calorífica del agua de formación.
Se utiliza un valor de 4.186 Julios/kg °C.
- Temperatura media del almacén.
Se calculará la temperatura media del almacén dependiendo de la profundidad del acuífero con la ecuación establecida para la temperatura en función de la profundidad.
- Superficie en planta del área considerada del almacén.
Se estimará el tamaño del almacén del escenario de estudio.
- Espesor medio útil del almacén.
Si no se obtienen datos concretos se utiliza el mayor espesor conocido de la formación geológica.

5.1.3.2 Estimación del recurso geotérmico

Como se ha explicado en el estado del arte, solo una parte del recurso accesible puede ser extraído. Esto es lo que se denomina recurso geotérmico. Existen diferentes ecuaciones para obtenerlo en función de la porosidad de la formación, del modelo de transporte del fluido, del sistema de gestión de los fluidos, etc. En este caso se va a simplificar teniendo en cuenta valores estimados de la industria, por los que se considera que se extrae un 30% del recurso accesible ($R=0.3$), según el documento del IDAE (10).

$$H_R = R \cdot H_0$$

5.1.4 Fundamentos térmicos del terreno

5.1.4.1 Evolución de la temperatura con la profundidad

Dentro de la variación de la temperatura con la profundidad existen profundidades típicas:

- Hasta los 50 metros la temperatura del terreno está muy ligada al equilibrio térmico entre la superficie (atmósfera y sol) y el terreno y la presencia de acuíferos. Prácticamente, dentro de este rango de profundidades la temperatura es más o menos constante.
- De 50 a 100 metros existe variación de la temperatura, pero sigue teniendo mucha influencia el equilibrio térmico.
- Para más de 100 metros la variación de la temperatura ya es destacable, aumentando con la profundidad. Este incremento está muy ligado a las características térmicas del suelo oscilando entre 1.5 y 3°C cada 100 metros.

Para el diseño y dimensionamiento de los sistemas geotérmicos de muy baja entalpía, esta variación de la temperatura debe tenerse en cuenta en sistemas en que las profundidades sean superiores a 100 metros.

Se utiliza la siguiente ecuación si se tiene en cuenta la hipótesis de suelo con propiedades térmicas constantes (10):

$$T(i, t) = T_m - A_s e^{-i \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}} \cdot \cos \left[\frac{2\pi}{365} \left(t - t_0 - \frac{i}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}} \right) \right]$$

donde:

$T(i, t)$: es la temperatura en °C del suelo en el tiempo t a una profundidad i .

T_m : es la temperatura media anual del suelo en grados.

A_s : es la oscilación de la temperatura superficial en grados centígrados

t : es el tiempo en días.

t_0 : es el desfase en días.

α : es la difusividad térmica del suelo en m²/día.

Las temperaturas máximas y mínimas a una profundidad i se calcularán:

$$T_{min}(i) = T_m - A_s e^{-i \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}}$$

$$T_{max}(i) = T_m + A_s e^{-i \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}}$$

Se debe tener en cuenta que la T_i varía, como se comentó anteriormente, 3°C cada 100 metros, por lo que se aplicará este incremento a profundidades mayores de 100 metros, por lo que:

$$T_i = T + i \cdot 0.03 \quad \forall i > 100 \text{ m}$$

- Difusividad térmica

La difusividad térmica representa la velocidad de cambio de temperatura en un material hasta que alcanza el equilibrio térmico. Se calcula como (10):

$$\alpha = \frac{\text{Conductividad} \left(\frac{W}{mK} \right)}{\text{Capacidad calorífica} \left(\frac{MJ}{m^3K} \right)} 10^{-6}$$

Para el cálculo de la conductividad se realizará una media ponderada de la conductividad de todos los tipos de rocas existentes en el pozo y sus profundidades. En el caso de la capacidad calorífica se obtendrá de la misma manera.

- Desfase

El desfase representa el tiempo que tarda en estabilizarse la temperatura a una determinada profundidad ante variaciones en la temperatura de la superficie. Este desfase se establece en 35 ± 10 días.

5.2 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA

5.2.1 Demanda energética del emplazamiento

En primer lugar, una vez definido el emplazamiento en el que se va a instalar el sistema de District Heating aprovechando instalaciones mineras abandonadas, se estudiará las necesidades energéticas en cuanto a calefacción y ACS. Como se ha comentado, la refrigeración no se tiene en cuenta debido a que en la zona climática del emplazamiento los sistemas de refrigeración son esporádicos. En base al documento de análisis del consumo energético en el sector residencial en España (18), y las características de la zona a abastecer por el estudio, se calculará una estimación de las necesidades energéticas de la zona. Hay que tener en cuenta, para esta estimación, tanto el número de viviendas a abastecer como el porcentaje de viviendas unifamiliares y viviendas en bloque, debido a que las necesidades energéticas son muy diferentes. Según este estudio (18), el 62% del consumo de energía en una vivienda localizada en la zona climática Atlántico Norte corresponde al consumo de calefacción y ACS. En el caso de las viviendas en bloque, este porcentaje baja hasta el 55% y en el caso de viviendas unifamiliares sube hasta el 70%. Por lo tanto, es importante conocer aproximadamente el porcentaje de viviendas en bloque y viviendas unifamiliares del emplazamiento.

5.2.1.1 Número de hogares del emplazamiento

El Instituto Nacional de Estadística ha realizado estudios sobre el número de viviendas por municipio. Por lo tanto, este parámetro se obtendrá a través de este estudio. Como el abastecimiento energético no se realizará en todas las viviendas del municipio, se calculará el número estimado de viviendas a abastecer a través del porcentaje de población que se tenga en cuenta para el estudio.

5.2.1.2 Número de viviendas unifamiliares y en bloque

En base al estudio (18), se obtiene el porcentaje de viviendas unifamiliares y en bloque para la zona climática a abastecer. Con este valor se puede estimar cuántas viviendas de cada tipo se estima que van a ser abastecidas con el sistema de estudio.

5.2.1.3 Superficie útil por tipo de vivienda

En base a los datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística (19), se obtiene el porcentaje de viviendas en diferentes rangos de superficie útil y con el número de viviendas de cada tipo se obtiene la superficie total de viviendas en el emplazamiento seleccionado por tipo de vivienda.

5.2.1.4 Consumo unitario anual por vivienda relativo a calefacción y ACS

El sistema de District Heating planteado en este estudio tratará de abastecer las necesidades de calefacción y ACS. En base a esto, es necesario obtener la energía consumida estimada por los hogares relativa a la calefacción y ACS en la zona climática del emplazamiento del estudio.

5.2.1.5 Consumo estimado anual del escenario relativo a calefacción y ACS

El consumo total del escenario planteado en este trabajo se calculará siguiendo la ecuación:

$$E_{TOTAL} = E_{bloque} \cdot n_{bloque} + E_{unifamiliar} \cdot n_{unifamiliar}$$

5.2.1.6 Potencia estimada anual del escenario relativo a calefacción y ACS

Para el cálculo de las cargas térmicas, necesario para el dimensionamiento de la instalación, se va a realizar una estimación, ya que, debido a la naturaleza del proyecto, no se conocen las características de todas las edificaciones del emplazamiento. Esta

estimación se basa en las pautas indicadas en la “Guía del Instalador de Calefacción”, de Junkers (20). En este documento se estima la potencia de la caldera en función de diferentes factores.

- Demanda térmica por local

Tabla 5-2 Demanda térmica por local. Fuente: Junkers

Local	Temperatura inferior (°C)	Demandas (kW/m²)
Sala de estar	22	0.147
Dormitorios	21	0.134
Cocina	20	0.120
Baños	21	0.134
Pasillos	18	0.1

- Factores de corrección
 - Por zona climática



Ilustración 5-1 Factores de corrección por zona climática. Fuente: alpinoclima

Zona climática	F1
A	0.7
B	0.8
C	0.9

D	1
E	1.15

○ Por orientación

Orientación	F2
Zona de montaña	0.7
Orientada al norte o zona sombra	1.15
Otros	1

○ Tipología de la edificación

Tipología	F3
Bloque	1.1
Unifamiliar	1.3

○ Aislamiento

Aislamiento	F4
Buen aislamiento	0.75
Aislamiento normal	1
Acristalado o mal aislamiento	1.2

Los sistemas de District Heating tienen la ventaja de reducir la potencia total instalada al agrupar todos los consumidores. Este factor de simultaneidad se encuentra alrededor de 0,8 en calefacción y de 0,65 en ACS.

Con el porcentaje de consumo en ACS y en calefacción se obtendrá una media ponderada del factor de simultaneidad.

5.2.2 Dimensionamiento del sistema geotérmico

Debido al carácter de estudio preliminar de este trabajo se va a realizar una estimación del dimensionamiento de un sistema de bomba de calor geotérmica, en base a los datos obtenidos en pasos anteriores. Debido a las características del emplazamiento, que permiten caudales muy elevados, el objetivo del dimensionamiento será calcular el caudal de agua de mina necesario para las necesidades térmicas del emplazamiento.

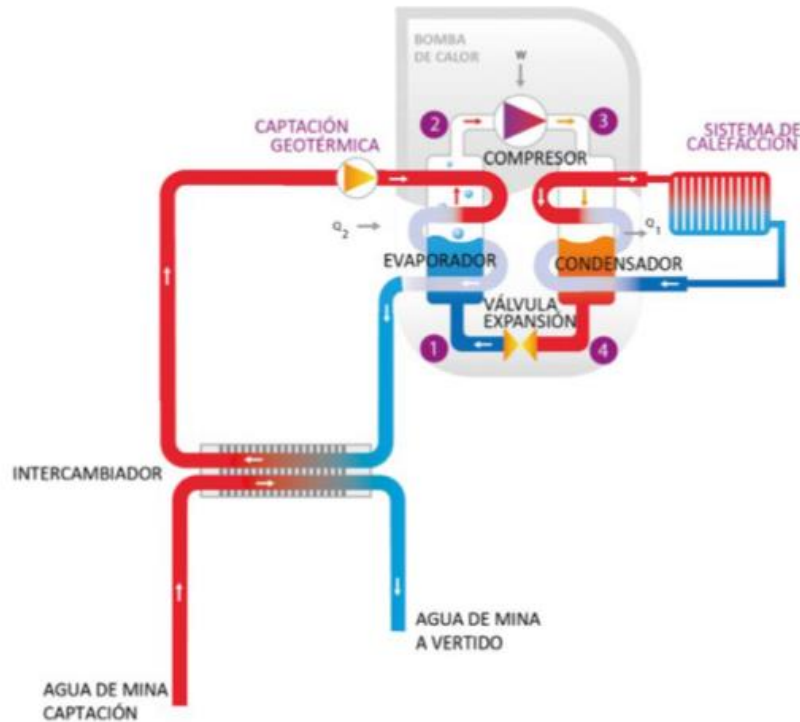


Ilustración 5-2 Dimensionamiento bomba de calor geotérmica. Fuente: akiter

Según la Ilustración 5-2, el sistema geotérmico que extraerá calor de la fuente caliente, en modo calefacción y ACS es el agua del pozo y lo cederá al foco frío, las diferentes viviendas localizadas en el emplazamiento seleccionado

En base al diagrama de un sistema de bomba de calor geotérmica, la potencia del condensador será la relativa a la carga térmica de demanda, es decir, la potencia estimada del escenario relativo a calefacción y ACS.

$$P_{cond} \approx P_{DH}$$

El siguiente paso será relativo al COP. El COP representa una medida de eficiencia de la bomba de calor y se calcula como la relación entre la potencia entregada por el sistema de calefacción y ACS y la potencia consumida para que funcione el sistema. En este paso el COP se fijará dentro de los niveles normales de este tipo de instalaciones. Fijando el valor del COP se obtiene el valor de la potencia del compresor a través de la siguiente ecuación:

$$COP = \frac{P_{cond}}{P_{compr}}$$

Una vez obtenida la potencia del compresor y sabiendo que:

$$P_{cond} = P_{compr} + P_{evap}$$

Se puede despejar la potencia del evaporador. Una vez se obtenga la potencia del evaporador se puede despejar el caudal másico de agua que debe utilizarse en este sistema. Se analizará si este caudal está disponible en el emplazamiento.

$$P_{evap} = \dot{m}_{agua} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

El salto térmico representa la diferencia de temperatura entre la entrada al evaporador (agua de mina) y la salida del evaporador (líquido refrigerante). En el caso de los sistemas de bombas de calor geotérmicas, los saltos térmicos son más bajos que las bombas de

calor convencionales, por lo que la potencia del evaporador es más baja. En base a las referencias encontradas, el salto térmico medio para este tipo de instalaciones es de 5°.

La potencia del evaporador representa el potencial térmico del sistema de District Heating con geotermia en el emplazamiento seleccionado.

6 RESULTADOS

6.1 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO DE LA ZONA

6.1.1 Evaluación preliminar de la potencia térmica superficial

Para calcular la potencia térmica superficial necesitamos la capacidad de extracción de calor de cada una de las rocas de la columna rocosa (W/m), que podemos apreciar en la Tabla 4-5, y junto con la altura de cada una de éstas, realizaremos la media ponderada:

$$P.T.S = \frac{72.47 + 60.96,3 + 65.214 + 60.13,50 + 65.106,8}{47 + 96,3 + 214,13,50 + 106,8} = 64,54W$$

Lo que equivale a un potencial térmico superficial elevado. Como se ha comentado antes, aunque este procedimiento calcula el potencial térmico superficial, al utilizar la media ponderada de las rocas de la columna estratigráfica que hay en el emplazamiento, da una idea del potencial térmico del pozo.

Con este dato, observamos en la Tabla 3-2, Tabla 3-1 que el grupo al que pertenecen estas rocas es el grupo D: gravas, gravillas, arenas, areniscas, granitos...

6.1.2 Estimación de los Recursos de Base Accesible (RBA)

Aplicamos la fórmula vista anteriormente:

$$RBA_i = V_i \cdot \rho_i \cdot C_i \cdot \frac{T_i - T_0}{2}$$

Para este cálculo, partimos de los datos ya recogidos del Fondo de la Mina de Reocín:

- Volumen del pozo:
 - o Profundidad = 477,6 m
 - o Superficie total mina = 2640 m²
 - o Volumen total = 477,6 * 2640 = 1260864 m³
- Densidad de la columna rocosa:
 - o $\rho_{column} = \frac{2500.47 + 1200.96,3 + 2800.214 + 4000.13,5 + 1900.106,8}{47 + 96,3 + 214 + 13,5 + 106,8} = 2280,5 \text{ kg/m}^3$
- Capacidad calorífica de la columna rocosa:
 - o $C_c = \frac{840.47 + 1874.96,3 + 920.214 + 537.13,5 + 1184.106,8}{47 + 96,3 + 214 + 13,5 + 106,8} = 1152,7 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$
- Temperatura ambiente:
 - o $T_0 = 14,25^\circ\text{C}$
- Temperatura a la profundidad de 477,6 m:
 - o $T_i = T_0 + 0,03 \cdot i = 14,25 + 0,03 \cdot 477,6 = 27,68^\circ\text{C}$

Con estos datos, aplicamos la ecuación del RBA, donde:

$$RBA = 1260864 \cdot 2280,5 \cdot 1152,7 \cdot \frac{27,68 - 14,25}{2} = 2,2 \times 10^{13} \text{ Julios} = 22000 \text{ GJ}$$

6.1.3 Evaluación de recursos y calor almacenado

$$H_0 = [(1 - \phi) \rho_r \cdot C_r + \phi \cdot \rho_a \cdot C_a] \cdot (T_t - T_0) \cdot S \cdot e$$

En el almacén del Pozo podemos encontrar Caliza, por lo que aplicamos las incógnitas de la ecuación para resolver el calor almacenado:

- $\rho_{caliza} = 1900 \text{ kg/m}^3$

- Capacidad calorífica = 1184 J/Kg°C
- $\rho_{\text{agua}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$
- Capacidad calorífica agua = 4186 J/Kg°C
- Temperatura media final almacén = $T_i = 27,68^\circ\text{C}$
- Temperatura media anual en superficie = $T_o = 14,25^\circ\text{C}$
- Volumen estimado del almacén:
 - o Ante la falta de datos, se realiza una estimación del volumen del almacén, facilitado por el artículo sobre el karst de la Mina de Reocín (16). $V = 5,6 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Porosidad: Basándonos en el documento del IDAE (10), podemos observar la tabla de evaluación de recursos de baja temperatura, donde encontramos la zona Cuenca Norte-Cantábrica. $\phi = 0,05$

$$H_o = ((1 - 0,05) \cdot 1900 \cdot 1184 + 0,05 \cdot 1000 \cdot 4186) \cdot (27,68 - 14,25) \cdot 5,6 \cdot 10^6$$

$$= 1,7 \times 10^{14} \text{ Julios} = 170.000 \text{ GJ}$$

- Hr: como se ha explicado anteriormente, procedemos ahora a calcular la cantidad de recurso que puede ser extraído del total del accesible que tenemos:

$$H_r = 0,03 \cdot H_o = 0,03 \cdot 170.000 = 5.100 \text{ GJ}$$

6.1.4 Fundamentos térmicos del terreno

Calculamos ahora la difusividad térmica, para lo que se realizará una media ponderada de la conductividad de todos los tipos de rocas del pozo y sus profundidades.

$$\alpha = \frac{\text{Conductividad} \left(\frac{W}{mK} \right)}{\text{Capacidad calorífica} \left(\frac{MJ}{m^3 K} \right)} 10^{-6}$$

$$\alpha_{\text{arenisca}} = \frac{2,3}{2100000} = 1,09 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 0,09 \text{ m}^2/\text{días}$$

$$\alpha_{\text{marga}} = \frac{2,1}{2250000} = 1,02 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 0,09 \text{ m}^2/\text{días}$$

$$\alpha_{\text{dolomia}} = \frac{2,2}{2576000} = 8,5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} = 0,074 \text{ m}^2/\text{días}$$

$$\alpha_{\text{blenda}} = \frac{2,3}{2152000} = 1,07 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 0,09 \text{ m}^2/\text{días}$$

$$\alpha_{\text{caliza}} = \frac{2,8}{2249600} = 1,24 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 0,11 \text{ m}^2/\text{días}$$

$$\alpha_{\text{columna}} =$$

$$= \frac{(1,09 \times 10^{-6}) \cdot 47 + (1,02 \times 10^{-6}) \cdot 96,3 + (8,5 \times 10^{-7}) \cdot 214 + (1,07 \times 10^{-6}) \cdot 13,5 + (1,24 \times 10^{-6}) \cdot 106,8}{47 + 96,3 + 214 + 13,5 + 106,8}$$

$$= 1,0013 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 0,086 \text{ m}^2/\text{días}$$

Calculamos ahora las temperaturas máxima y mínima a profundidades cada 50 metros, donde la variación de temperaturas medias máxima y mínima es de $5,54^\circ\text{C}$ ($17,76 - 12,22 = 5,54$).

$$T_{max}(i) = T_m + A_s \cdot e^{i \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}}}$$

$$T_{max}(i = 50m) = 14,25 + 5,54 \cdot e^{-50 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C$$

$$T_{max}(i = 100m) = 14,25 + 5,54 \cdot e^{-100 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C \rightarrow +3\% = 17,25^\circ C$$

$$T_{max}(i = 150m) = 14,25 + 5,54 \cdot e^{-150 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C \rightarrow +3\% = 18,75^\circ C$$

$$T_{max}(i = 200m) = 14,25 + 5,54 \cdot e^{-200 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C \rightarrow +3\% = 20,25^\circ C$$

$$T_{max}(i = 250m) = 14,25 + 5,54 \cdot e^{-250 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C \rightarrow +3\% = 21,75^\circ C$$

$$T_{max}(i = 300m) = 14,25 + 5,54 \cdot e^{-300 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C \rightarrow +3\% = 23,25^\circ C$$

$$T_{max}(i = 350m) = 14,25 + 5,54 \cdot e^{-350 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C \rightarrow +3\% = 24,75^\circ C$$

$$T_{max}(i = 400m) = 14,25 + 5,54 \cdot e^{-400 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C \rightarrow +3\% = 26,25^\circ C$$

Por otro lado, analizamos ahora las temperaturas mínimas:

$$T_{min}(i) = T_m - A_s \cdot e^{i \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}}}$$

$$T_{min}(i = 50m) = 14,25 - 5,54 \cdot e^{-50 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C$$

$$T_{min}(i = 100m) = 14,25 - 5,54 \cdot e^{-100 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C \rightarrow +3\% = 17,25^\circ C$$

$$T_{min}(i = 150m) = 14,25 - 5,54 \cdot e^{-150 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C \rightarrow +3\% = 18,75^\circ C$$

$$T_{min}(i = 200m) = 14,25 - 5,54 \cdot e^{-200 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C \rightarrow +3\% = 20,25^\circ C$$

$$T_{min}(i = 250m) = 14,25 - 5,54 \cdot e^{-250 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C = 21,75^\circ C$$

$$T_{min}(i = 300m) = 14,25 - 5,54 \cdot e^{-300 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C \rightarrow +3\% = 23,25^\circ C$$

$$T_{min}(i = 350m) = 14,25 - 5,54 \cdot e^{-350 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C \rightarrow +3\% = 24,75^\circ C$$

$$T_{min}(i = 400m) = 14,25 - 5,54 \cdot e^{-400 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 0,086}}} = 14,25^\circ C \rightarrow +3\% = 26,25^\circ C$$

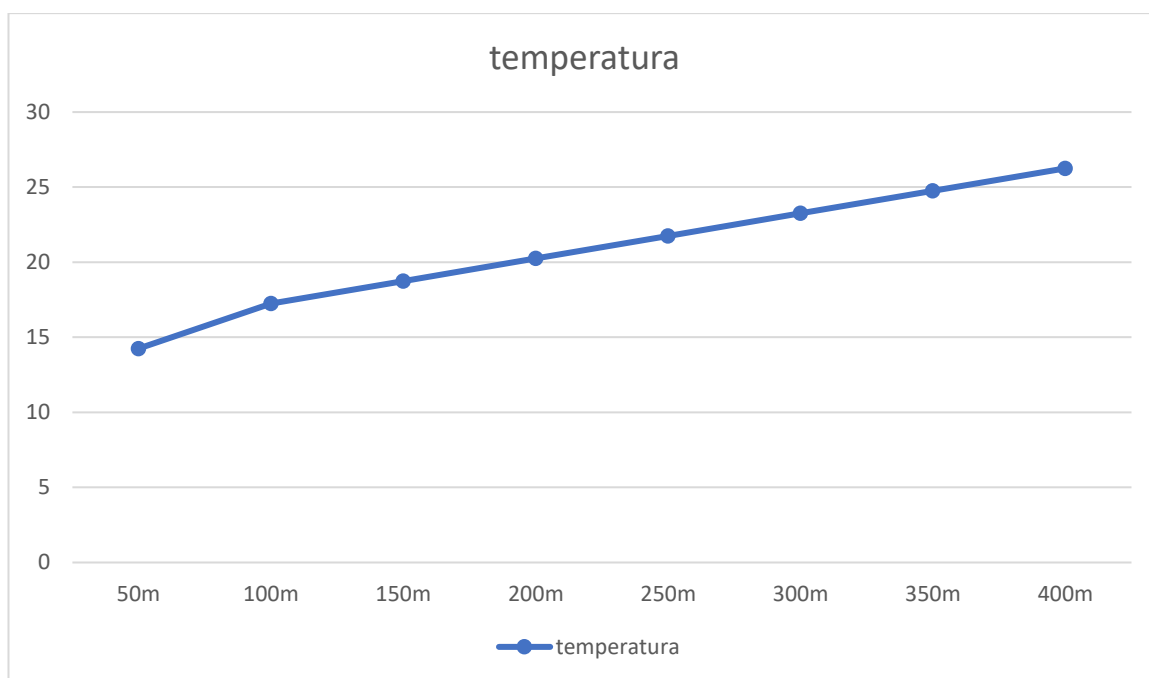


Ilustración 6-1 Evolución de la temperatura con la profundidad

6.2 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA

6.2.1 Demanda energética del emplazamiento

6.2.1.1 Número de hogares del emplazamiento

El municipio de Reocín cuenta con 3920 viviendas para una población de 8399 habitantes.

El abastecimiento energético se va a reducir a las poblaciones de Helguera, Puente San Miguel y La Veguilla por ser las más próximas a la localización de la instalación. Estas localidades suponen un porcentaje de la población de todo el municipio de un 52%.

Por otro lado, el sistema de calefacción y ACS con District Heating será integrable en las viviendas que cuenten actualmente con un sistema de calefacción con radiadores. Existen numerosas viviendas que no cuentan con sistema de calefacción por lo que no se tendrán en cuenta para el estudio. En este caso en base al estudio SPAHOUSEC II (21), los tipos de sistemas de calefacción sustituibles por el sistema de District Heating serán:

- Caldera normal.
- Caldera de condensación.

En la Tabla 6-1 Distribución de tipo de sistema de calefacción por tipo de vivienda y zona climática. Fuente: IDAE se indica que en la zona climática Atlántico-Norte el 53.1 % de las viviendas en bloque y el 63.1 % de las unifamiliares tienen caldera normal y el 14.3 % de las viviendas en bloque y el 4 % de las unifamiliares tienen caldera de condensación. Por lo tanto, el 67.4 % de las viviendas en bloque y el 57.1 % de las viviendas unifamiliares son tomadas en cuenta para dimensionar el sistema de District Heating.

Tabla 6-1 Distribución de tipo de sistema de calefacción por tipo de vivienda y zona climática. Fuente: IDAE

Tipo de sistemas de calefacción	Total	Zona climática					
		Atlántico-Norte		Continental		Mediterránea	
	Tipo de vivienda	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar
Caldera normal	49,3	53,1	63,1	85,9	80,2	27,7	23,1
Caldera de condensación	4,0	14,3	4,0	5,9	4,0	1,0	1,9
Bomba de calor reversible	11,3	0,3	0,0	0,6	0,7	18,5	24,5
Radiador/convector eléctrico	18,1	28,1	16,2	7,4	9,0	23,4	21,8
Paneles solares	0,4	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	1,5
Suelo radiante	0,3	1,0	1,2	0,2	0,5	0,1	0,3
Otros	21,1	4,7	20,4	1,3	12,0	33,1	33,6

Se estima, por lo tanto, que el número de viviendas que se va a abastecer mediante el sistema de District Heating en Reocín es de:

$$n_{\text{escenario}} = \frac{n_{\text{Reocín}} \cdot \% \text{ población}_{\text{escenario}}}{100} = \frac{3920 \cdot 52}{100} = 2038 \text{ viviendas}$$

6.2.1.2 Número de viviendas unifamiliares y en bloque

Según el estudio de SPAHOUSEC, en la zona climática Atlántico Norte el 74% de las viviendas se establecen en bloque y el 26% restante en forma de vivienda unifamiliar. Por lo tanto, en la zona de estudio se tendrán:

$$n_{\text{bloque}} = \frac{n_{\text{escenario}} \cdot \% \text{ bloque}_{\text{zona}}}{100} = \frac{2038 \cdot 74}{100} = 1508 \text{ viviendas}$$

$$n_{\text{unifamiliar}} = \frac{n_{\text{escenario}} \cdot \% \text{ unifamiliar}_{\text{zona}}}{100} = \frac{2038 \cdot 26}{100} = 530 \text{ viviendas}$$

Del total de viviendas en bloque y unifamiliares solo las que tengan un sistema de calefacción sustituible fácilmente por el District Heating serán tenidas en cuenta para dimensionar el sistema:

$$n_{\text{bloque}} = \frac{n_{T\text{bloque}} \cdot 67,4}{100} = \frac{1508 \cdot 67,4}{100} = 1016 \text{ viviendas}$$

$$n_{\text{unifamiliar}} = \frac{n_{T\text{unifamiliar}} \cdot 57,1}{100} = \frac{530 \cdot 57,1}{100} = 303 \text{ viviendas}$$

6.2.1.3 Superficie útil de cada tipo de vivienda

Según el INE, en el municipio de Reocín el 28% de las viviendas tiene entre 76 y 90 m², el 19% entre el 61 y 75 m², el 16% entre 91 y 105 m², el 11% entre 106 y 120 m², el 11% entre 121 y 150 m², el 6% entre 46 y 60 m², el 5% más de 180 m² y el 4% entre 151 y 180 m².

Con esta estadística se estima la superficie útil de cada tipo de vivienda. De los datos de superficie se cogerá la media del rango.

$$S_{bloque} = n_{bloque} [0,28 \cdot 83 + 0,19 \cdot 68 + 0,16 \cdot 98 + 0,11 \cdot 113 + 0,11 \cdot 135,5 + 0,06 \cdot 53 + 0,05 \cdot 180 + 0,04 \cdot 165,5] = 99542,6 \text{ m}^2$$

$$[0,28 \cdot 83 + 0,19 \cdot 68 + 0,16 \cdot 98 + 0,11 \cdot 113 + 0,11 \cdot 135,5 + 0,06 \cdot 53 + 0,05 \cdot 180 + 0,04 \cdot 165,5] = 29686,4 \text{ m}^2$$

6.2.1.4 Consumo unitario anual por vivienda relativo a calefacción y ACS

Según el estudio SPAHOUSEC (18) en la zona climática Atlántico Norte, el consumo unitario por vivienda relativo a calefacción, ACS y refrigeración y diferenciado por tipo de vivienda es el mostrado a continuación en la Ilustración 6-2:

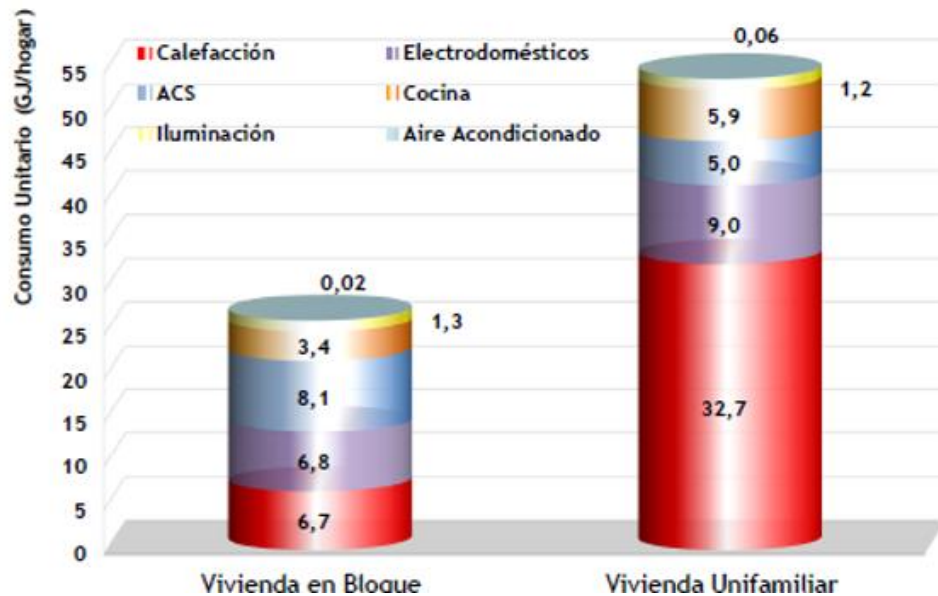


Ilustración 6-2 Consumo unitario por hogar. Fuente: SPACHOUSE

$$E_{bloque} = 6,7 + 8,1 = 14,8 \frac{\text{GJ}}{\text{hogar}}$$

$$E_{unifamiliar} = 32,7 + 6,0 = 37,7 \frac{\text{GJ}}{\text{hogar}}$$

6.2.1.5 Consumo estimado anual del escenario relativo a calefacción y ACS.

El consumo total del escenario planteado en este trabajo se calculará siguiendo la ecuación:

$$E_{total} = 14,8 \cdot 1016 + 37,7 \cdot 303 = 26460 \text{ GJ}$$

6.2.1.6 Potencia estimada de calefacción anual del escenario relativo a calefacción y ACS

En función de lo indicado por Junkers y lo estimado a través del INE se estima la potencia total de calefacción.

La demanda térmica está indicada por local. En este caso, el informe del INE aporta datos por m² útiles de vivienda por lo que cogeremos la demanda en kW/m² más elevada para sobreestimar el sistema, es decir, la correspondiente a la sala de estar 0.147 kW/m².

En cuanto a los factores de corrección se seleccionarán los siguientes:

- Zona climática B → F1=0.8
- Orientación indeterminada → F2=1
- Tipología bloque → F3= 1.1
- Tipología unifamiliar → F3= 1.3
- Aislamiento malo (parque de viviendas antiguo) → F4= 1.2

Por otro lado, el factor de simultaneidad de la instalación se ponderará en función del consumo de calefacción y ACS de cada tipo de vivienda:

$$\% \text{Calefacción}_{\text{bloque}} = \frac{6,7}{6,7 + 8,1} 100 = 45,3 \%$$

$$\% \text{ACS}_{\text{bloque}} = \frac{8,1}{6,7 + 8,1} 100 = 54,7 \%$$

$$\% \text{Calefacción}_{\text{unifamiliar}} = \frac{32,7}{32,7 + 5} 100 = 86,7 \%$$

$$\% \text{ACS}_{\text{Bloque}} = \frac{5}{32,7 + 5} 100 = 13,3 \%$$

Por lo tanto, el factor de simultaneidad total será:

$$FS_{\text{bloque}} = 0,8 \cdot 0,453 + 0,65 \cdot 0,547 = 0,72$$

$$FS_{\text{unifamiliar}} = 0,8 \cdot 0,867 + 0,65 \cdot 0,133 = 0,78$$

Finalmente, la potencia térmica total que deberá abastecer el sistema de District Heating será:

$$P_{DH} = 0.147 [S_{\text{bloque}} \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 0,72 + S_{\text{unifamiliar}} \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 0,78] \\ = 15373,6 \text{ kW}$$

6.2.2 Dimensionamiento del sistema geotérmico:

6.2.2.1 Potencia condensador

La potencia del condensador se estima igual que la potencia térmica que se demanda en el emplazamiento seleccionado, es decir

$$P_{\text{cond}} \approx P_{DH} = 46138 \text{ kW}$$

6.2.2.2 Potencia del compresor

Los sistemas de District Heating planteados por Hunosa (renewable and sustainable energy reviews 2019), en Asturias son muy similares al planteamiento de este trabajo, además la zona climática es similar. En este documento se establece un COP medio superior a 5,5. Por lo que será el valor utilizado para calcular la potencia del compresor

$$COP = \frac{P_{cond}}{P_{compr}} \rightarrow P_{compr} = COP \cdot P_{cond} = \frac{15373,6}{5,5} = 2795,2 \text{ kW}$$

6.2.2.3 Potencia del evaporador

Conociendo el balance de potencias de la bomba de calor se sabe que:

$$P_{cond} = P_{compr} + P_{evap} \rightarrow P_{evap} = P_{cond} - P_{compr} = 15373,6 - 2795,2 = 12578,4 \text{ kW}$$

La potencia del evaporador representa el potencial térmico del sistema de District Heating con geotermia.

6.2.2.4 Caudal de agua del pozo

$$P_{evap} = \dot{m}_{agua} \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow \dot{m}_{agua} = \frac{P_{evap}}{C_p \cdot \Delta T} = \frac{12578,4 \cdot 10^3}{4186 \cdot 5} = 601 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \approx 601 \text{ l/s}$$

En el artículo (16), en el que se estudia el Krast de la Mina de Reocín y el origen del agua de la mina, se concluye que el caudal medio que se debe bombear desde el fondo de la mina., para evitar que se inunde, es de 1150 l/s aumentando con la profundidad de las explotaciones. Por lo tanto, un caudal de bombeo de 601 l/s es adecuado para esta instalación.

En el prediseño del sistema se presentarán dos opciones de District Heating geotérmico para emplazamiento seleccionado. En condiciones normales se debería realizar un estudio de la adecuación del caudal al acuífero para evitar el agotamiento del mismo. En el caso de este trabajo se va a trabajar con dos circuitos independientes, uno de agua de mina y otro de agua limpia, por lo que el agua extraída del pozo se verterá al lago, no suponiendo un consumo de agua de la mina. En el caso de seleccionar un sistema en el que el agua se vierta a una localización diferente al lago, es importante conocer las características del acuífero. El agua del lago de la Mina de Reocín es un lago de origen antrópico, producido por la infiltración de aguas procedentes del río Saja una vez finalizaron los bombeos para evitar su inundación. Esta infiltración tuvo lugar de manera natural con un caudal de unos 1200 l/s. Una vez finalizó el llenado de galerías subterráneas y del hueco de mina, 5 años más tarde del comienzo, el lago almacenaba 36 hm³, convirtiéndose en el segundo embalse de Cantabria en cuanto a capacidad. Esto hace que el caudal no sea un condicionante a la hora de explotar el emplazamiento, siempre que se mantenga por debajo de aproximadamente los 1200 l/s.

6.3 PREDISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRICT HEATING CON BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA PARA EL POZO DE SANTA AMELIA

Para el diseño preliminar del sistema de District Heating geotérmico en la mina de Reocín, a falta de mediciones más precisas, se han planteado dos sistemas similares a los planteados por Hunosa en Asturias. Como se ha comentado anteriormente, la similitud en cuanto a infraestructura, características de la instalación y clima hacen que se pueda plantear de manera previa un sistema similar. En el caso de la Mina de Reocín se van a plantear dos opciones de District Heating geotérmico. La diferencia entre estas dos opciones se basa en la localización de la bomba de calor. Para la selección final de la

opción más adecuada deberían analizarse en profundidad las características del emplazamiento.

6.3.1 District Heating geotérmico con central en el Pozo de Santa Amelia

El primer sistema que se va a presentar es un District Heating geotérmico donde las bombas de calor se van a localizar en el emplazamiento del Pozo de Santa Amelia, aprovechando la infraestructura minera existente.

Las ventajas de este sistema se basan en que su localización fuera del núcleo urbano facilita las labores de construcción, instalación y mantenimiento, y además permite aprovechar infraestructura abandonada de la mina.

La desventaja principal es que parte de la población está a distancias de unos 3 km. Esto produce que el sistema de bombeo de distribución tenga que tener mayores potencias y mantener unas presiones más elevadas. Además, las pérdidas térmicas en las tuberías serán mayores.

En la Ilustración 6-3 Distribución del agua caliente con el sistema DH en Reocín, se representa un diagrama del sistema seleccionado. En este caso, el sistema de district heating se ubicará en la zona de Reocín, próximo a la mina. Desde este punto, saldrá la red de distribución con agua caliente, que irá hasta Puente San Miguel y una vez allí se bifurcará hacia los puntos interesantes de suministro (centro de salud, instituto, barrio Santa Bárbara, colegio de infantil y primaria, núcleos de viviendas...).

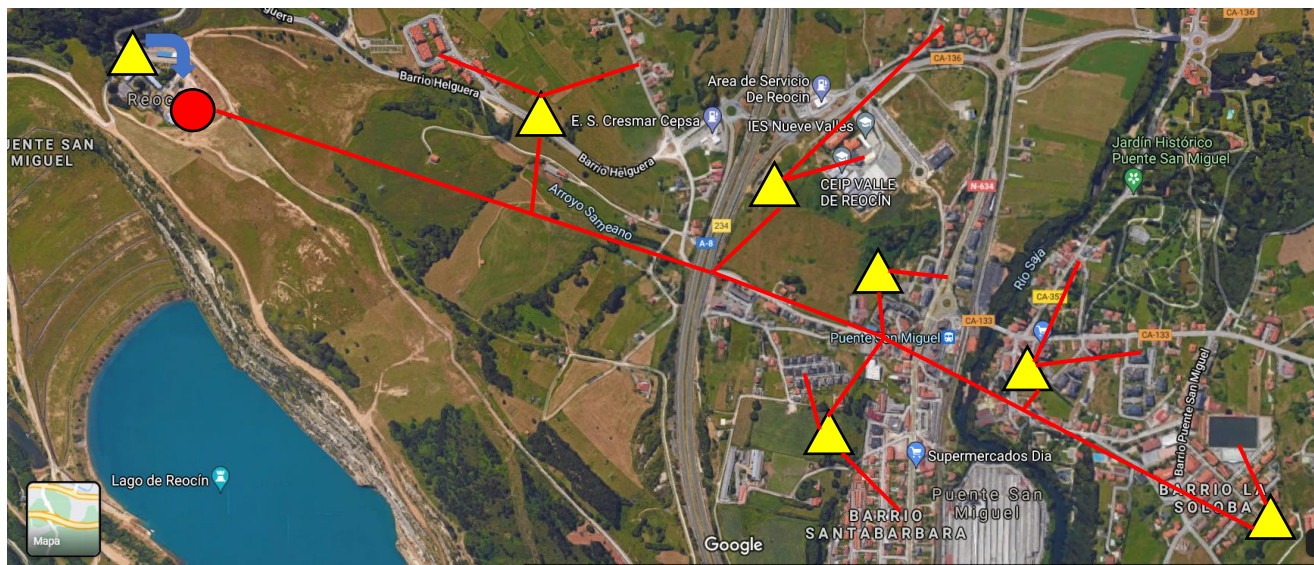


Ilustración 6-3 Distribución del agua caliente con el sistema DH en Reocín.

En la Ilustración 6-3 representamos la bomba de calor y los intercambiadores con las siguientes formas para mejor visualización.


Bomba de calor


Intercambiador

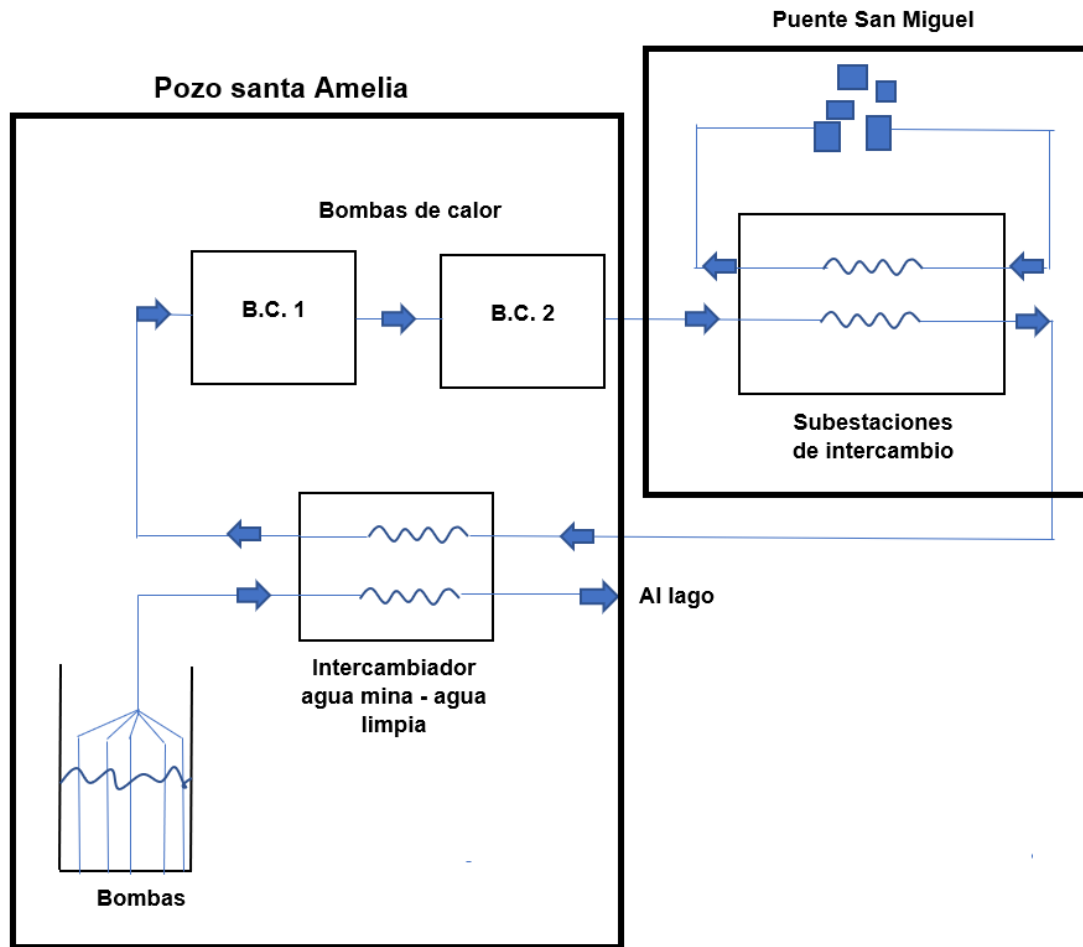


Ilustración 6-4 Esquema distribución agua mina

6.3.1.1 Bombeo agua de mina

En el caso del bombeo en el primer lugar se va a estudiar si las bombas existentes en la infraestructura minera son aprovechables. Como son bombas que no se usan desde 2004, cuando se detuvo el bombeo, lo más probable es que esta infraestructura no sea de utilidad. En el caso de renovar las bombas, se van a necesitar bombas que extraigan agua a una profundidad de unos 350 metros y un caudal de $2.163 \text{ m}^3/\text{h}$ (601 l/s). Una posibilidad adecuada es utilizar bombas sumergibles. Una opción comercial que permite en su plataforma calcular qué bomba es adecuada para la instalación es la empresa INDAR del Grupo Ingeteam. En este caso en su calculadora de bombas se introducen las necesidades de caudal y de altura de bombeo de la instalación y no se obtiene una bomba adecuada. Al ser el caudal muy elevado, se decide poner varias bombas, en concreto 5 bombas. Para ello se seleccionará un caudal de $700 \text{ m}^3/\text{h}$ y una altura de 350 metros. Las bombas seleccionadas son 5 bombas SP UGP-2807-06 con una potencia máxima en el eje de 1000 kW y un rendimiento hidráulico del 78% aproximadamente. En la Ilustración 6-5 se observan las curvas de este tipo de bombas.

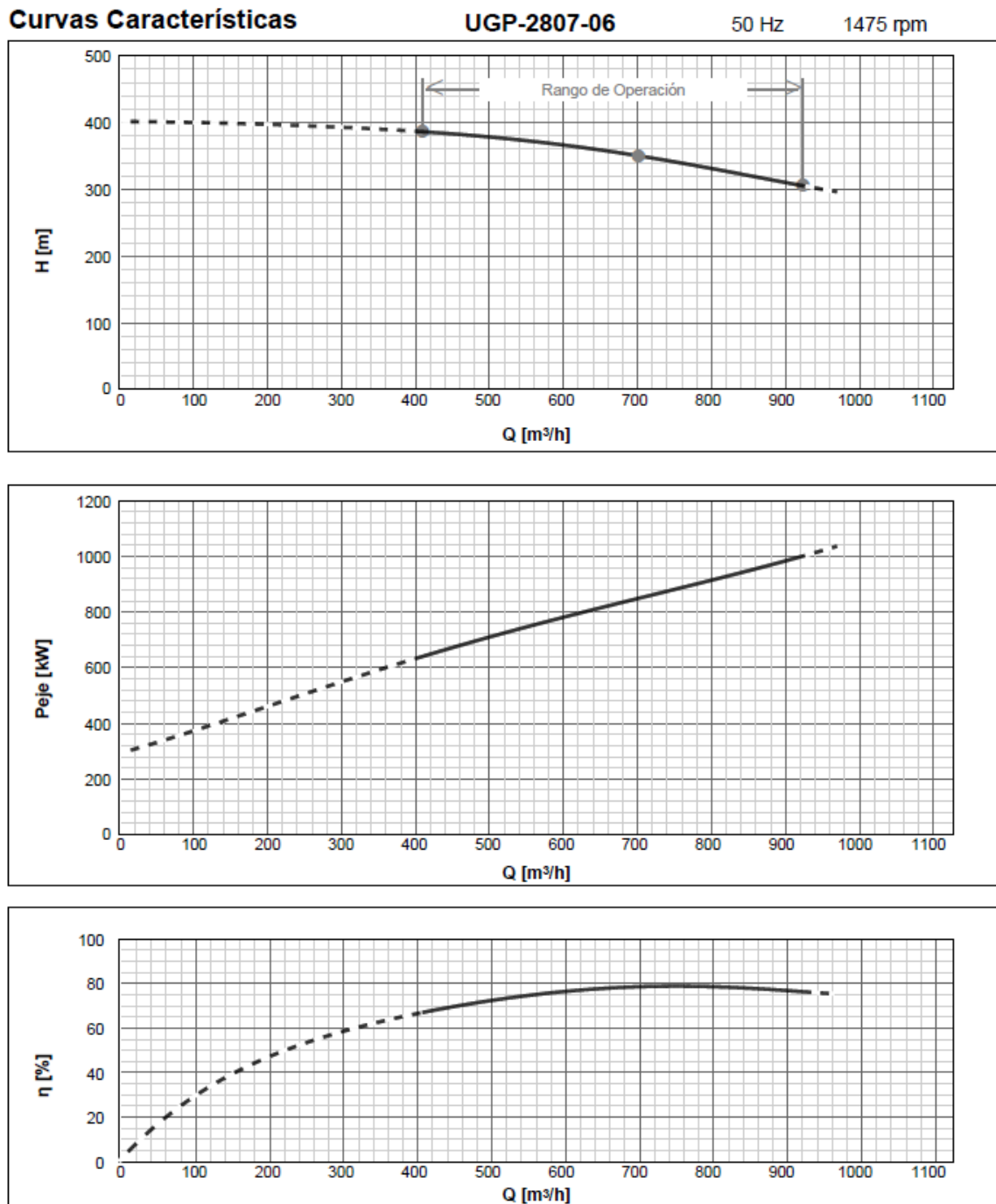


Ilustración 6-5 Curvas características de las bombas SP UGP-2807-06. Fuente: INDAR

Para el caso concreto de este trabajo podrían seleccionarse 5 bombas de unos 433 m³/h para una altura de 350m.

6.3.1.2 Intercambiador de calor agua de mina – agua limpia

Para evitar problemas producidos por el tipo de agua subterránea de la mina, se introduce un intercambiador de calor previo a la bomba de calor en el que el calor del agua de la mina se cede a un circuito de agua limpia que alimenta la bomba de calor. Este sistema permite que tanto el sistema de distribución como la bomba de calor trabajen con agua limpia que no produzca problemas.

Además, este sistema permite que el agua extraída de la mina se vierta en el lago de manera que no exista consumo de agua de la mina.

6.3.1.3 Bomba de calor

Se ha optado por un sistema de 2 bombas de calor en cascada. Este sistema permite aumentar más la temperatura que el sistema con una bomba de calor. En el caso concreto de la distribución de calor al emplazamiento seleccionado se ha concluido en el estudio que el parque de viviendas es antiguo por lo que los sistemas de calefacción son en su mayoría calefacción con caldera tradicional y radiadores de alta temperatura. Como en este estudio no se contempla la sustitución por parte de los usuarios de su infraestructura, la cesión de calor deberá hacerse a temperaturas elevadas. En el caso de un emplazamiento con emisores de baja temperatura (radiadores de baja temperatura, suelo radiante, etc.) es posible la instalación de una sola bomba de calor.

6.3.1.4 Red de tuberías de distribución

La red de distribución transportará el fluido caliente hasta diferentes subestaciones de intercambio de calor localizadas en diferentes puntos del emplazamiento. La longitud de red de distribución del foco caliente tendrá unos 5,5 km hasta el punto más lejano, por lo que el tipo de tuberías y el aislamiento de las mismas es esencial para que el intercambio de temperatura en las viviendas sea efectivo.

La distribución hasta los puntos de consumo se realiza mediante tubería plástica de polipropileno (PRP). En la Ilustración 6-6 se observa la distribución que se realizará.

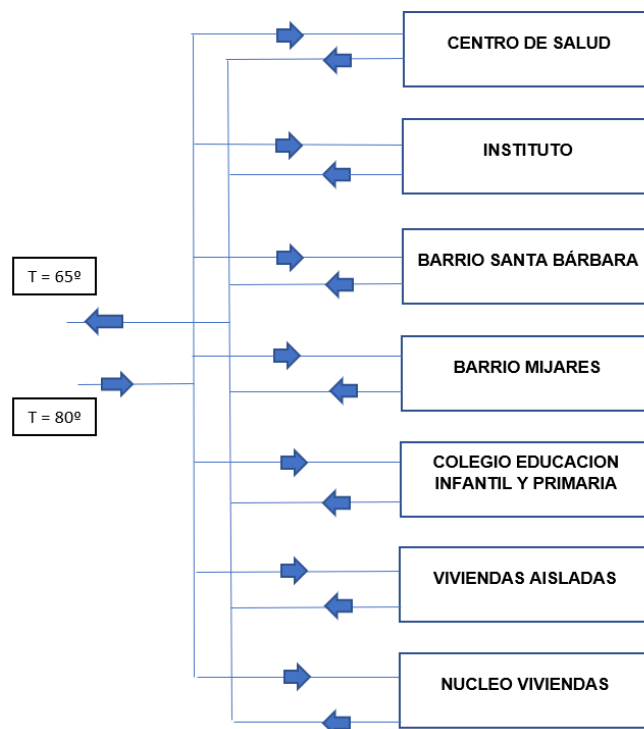


Ilustración 6-6 Tuberías de distribución a diferentes puntos de interés

6.3.1.5 Subestaciones de intercambio

Se seleccionarán 6 emplazamientos para situar los intercambiadores de calor cercanos a los núcleos de viviendas para alimentar los radiadores de las mismas.

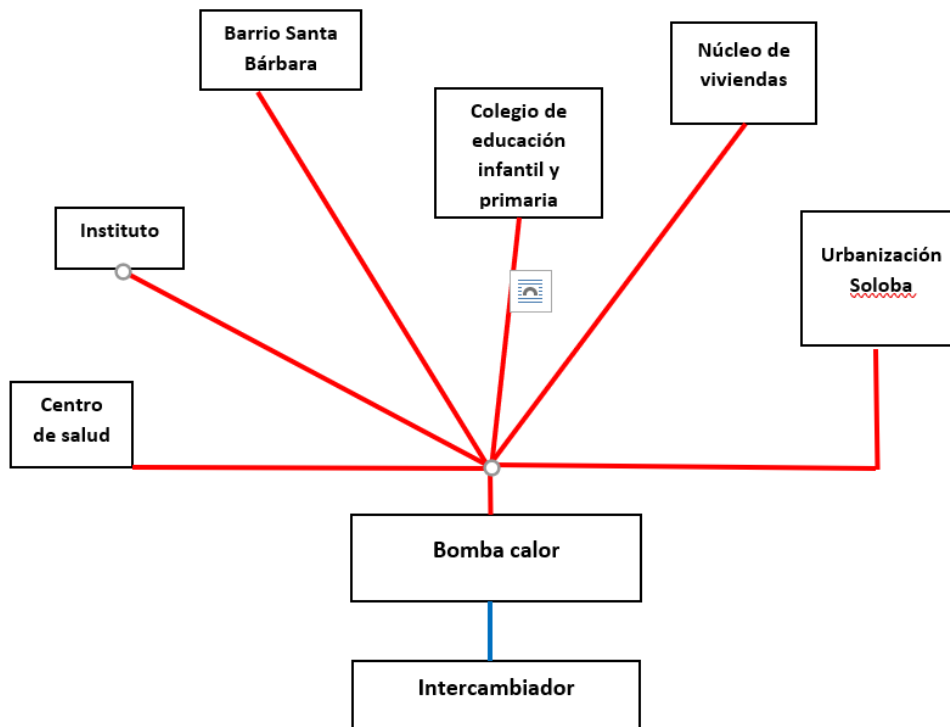


Ilustración 6-7 Esquema de la zona de alta temperatura. Fuente: prezi

La transferencia de calor del circuito de agua limpia a los circuitos de distribución se realiza mediante un intercambiador de calor, ajustando presión y temperatura. En la Ilustración 6-7 podemos observar el sistema de control del intercambio.

6.3.2 District Heating geotérmico con en el district heating en el emplazamiento de destino

El segundo sistema que se va a presentar en un District Heating geotérmico donde las bombas de calor se van a localizar en el emplazamiento a abastecer de energía térmica, en concreto en la localidad de Puente San Miguel.

La ventaja principal de este sistema es que la distribución desde el pozo hasta Puente San Miguel, cuya distancia es elevada, se hace con el agua del foco frío, por lo que es más sencillo controlar las pérdidas térmicas y la presión de distribución no debe ser tan elevada.

La desventaja principal es que hay que buscar un emplazamiento adecuado para la construcción e instalación de las bombas de calor y en el núcleo urbano el espacio es limitado. En la siguiente ilustración se muestra un esquema del bombeo del agua.

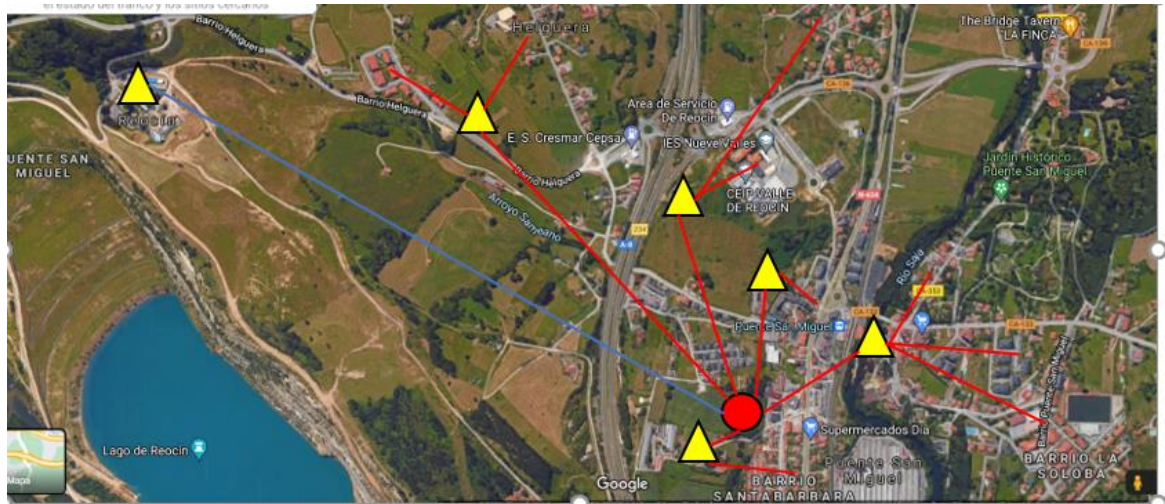


Ilustración 6-8 Distribución de agua caliente con sistema DH en Puente San Miguel

En la Ilustración 6-8 Distribución de agua caliente con sistema DH en Puente San Miguel representamos la bomba de calor y los intercambiadores con las siguientes formas para mejor visualización.



Bomba de calor



Intercambiador

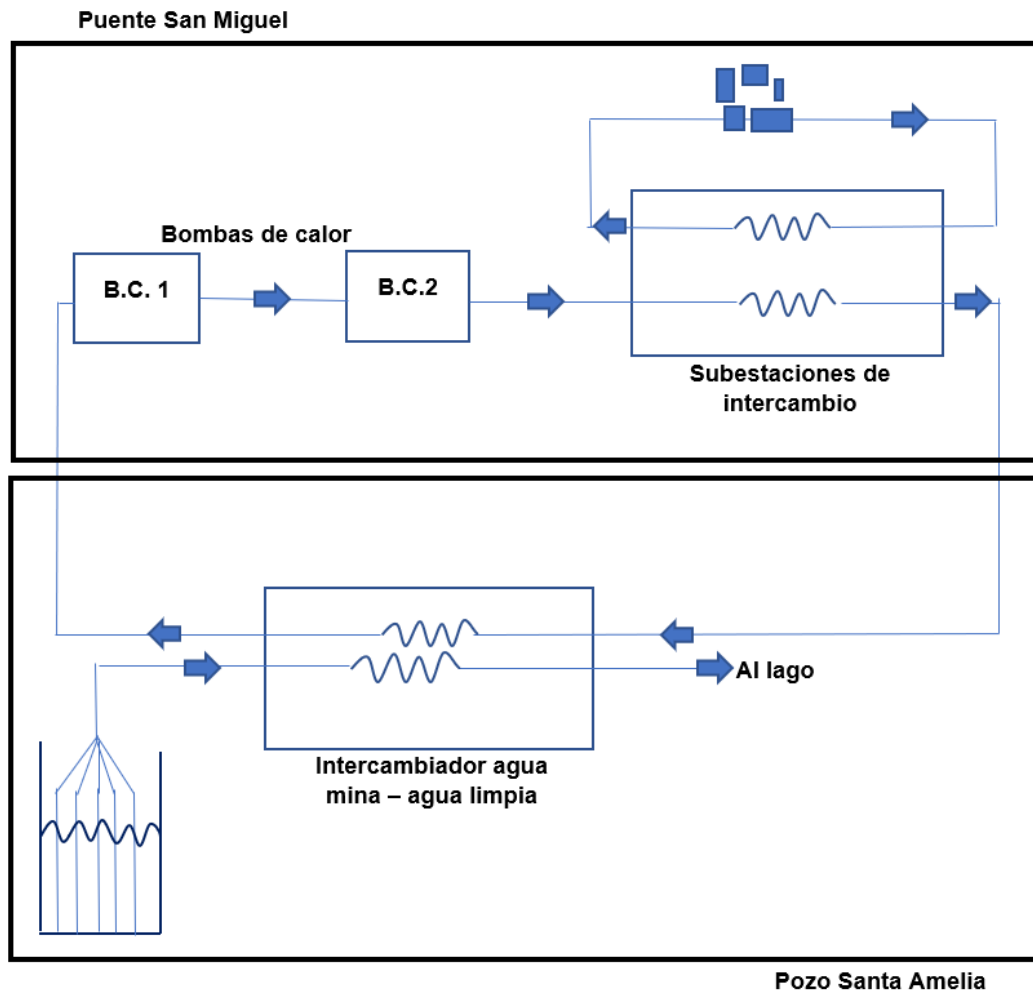


Ilustración 6-9 Esquema distribución agua mina

6.3.2.1 Bombeo agua de mina

El bombeo se realiza en las mismas condiciones que en el sistema anterior.

6.3.2.2 Bomba de calor

Las bombas de calor son similares a las seleccionadas en el sistema.

6.3.2.3 Red de tuberías de distribución

En este caso, la red de distribución transportará el fluido frío desde el Pozo de Santa Amelia hasta la localización de las bombas de calor. Posteriormente existirá otra red de distribución del foco caliente que irá desde las bombas de calor a las diferentes subestaciones intercambiadoras.

Esta distribución hasta los puntos de consumo se realiza mediante una tubería plástica de polipropileno (PRP). A continuación, se observa el mapa del emplazamiento, así como la ubicación de los diferentes sistemas de intercambiador, calor y distribución.

6.3.2.4 Subestaciones de intercambio

De la misma manera que el sistema anterior, se seleccionarán 5 emplazamientos para situar los intercambiadores de calor cercanos a los núcleos de viviendas para alimentar los radiadores de las mismas, como se observa en la Ilustración 6-8.

6.4 ESTIMACIÓN ECONÓMICA

Debido a que en este trabajo se ha realizado solo el planteamiento de la instalación de District Heating geotérmico en la Mina de Reocín, no es posible realizar un estudio económico detallado. En el caso de este trabajo, el estudio económico se va a realizar en base a referencias obtenidas de la literatura técnica. En concreto se va a utilizar un artículo científico en el que se comparan los costes del District Heating geotérmico con otras tecnologías (22). En este artículo se dividen los costes unitarios por cada una de las partes de la instalación.

6.4.1 Coste de la planta de calor

Se establecen unos costes unitarios para una bomba de calor geotérmica de baja temperatura de:

- Coste de inversión: 1,7 – 1,9 M€/MW.
- Costes operativos y de mantenimiento: 2,5 % de los costes de inversión.
- Eficiencia: 100 %
- Vida útil: 25 años

Para la instalación planteada en este trabajo se establece un coste de la planta de calor, teniendo en cuenta la media del coste de inversión, de:

$$C_{i_{PC}} = 1,8 \cdot 12,58 = 22,6 \text{ M€}$$

$$C_{o_{PC}} = 0,025 \cdot 22,6 = 0,565 \text{ M€}$$

6.4.2 Coste de la red de distribución

Estos costes son muy dependientes del ratio edificios/área de la zona donde se va a realizar el abastecimiento de calor y de las demandas. Cuanto mayor sea el ratio edificios/área y la demanda, menores serán los costes de inversión por unidad de calor. La Asociación de District Heating Sueca ha realizado guías para estimar la diferencia de costes entre áreas con edificios y áreas sin edificar, llegando a la conclusión que las inversiones para construir la red de distribución en zonas sin edificar son entre un 13 y un 26 % más elevadas que construyéndola en zonas sin edificar. En la Tabla 6-2 Costes de inversión unitarios de la red de distribución, se muestran los costes unitarios de inversión dependiendo del tipo de emplazamiento y del tipo de área.

Tabla 6-2 Costes de inversión unitarios de la red de distribución

Tipo de emplazamiento	Costes de inversión unitarios (€/vivienda)	
	Área sin edificar	Área edificada
Centro de ciudad	1400	1950
Afuera	1600	2050
Zonas verdes	2300	2650

Para calcular los costes de la red de distribución hay que tener en cuenta que el tramo de la red pasa por diferentes áreas. Teniendo en cuenta que la ubicación se puede clasificar como afuera y que la red de distribución por áreas sin edificar cuenta con 2,5 km y la red de distribución por áreas edificadas cuenta con 1,4 km, se estima que el coste de inversión unitario de la zona será:

$$C_{uD} = \frac{2,5 \cdot 1600 + 1,4 \cdot 2050}{2,5 + 1,4} = 1761,54 \text{ €/vivienda}$$

Teniendo en cuenta que la instalación va a abastecer a unas 1319 viviendas:

$$C_D = 1761,54 \cdot 1319 = 2.323.471,26 \text{ €}$$

6.4.3 Coste de las instalaciones de consumidores

El coste de las instalaciones de los consumidores depende mucho del tipo de sistema de District Heating. En la Tabla 6-3, se muestran los costes por unidad de energía y las pérdidas para edificios de bajo consumo dependiendo del tipo de emplazamiento.

Tabla 6-3 Costes unitarios y pérdidas de las instalaciones de los consumidores

Tipo de emplazamiento	Costes unitarios (€/kWh)	Pérdidas en la red (%)	Pérdidas en la instalación del consumidor (%)
Centro de ciudad	0,050	10	2
Afuera	0,051	20	
Zonas verdes	0,060	25	

La eficiencia de las instalaciones de los consumidores es del alrededor del 98 % y la vida útil de la instalación de unos 20 años.

Teniendo en cuenta que el tipo de emplazamiento es considerado como afueras y el consumo estimado de todos los clientes del emplazamiento (26460 GJ), el coste de inversión del total de las instalaciones para los consumidores sería:

$$C_C = \frac{0,051 \cdot 26460 \cdot 1 \cdot 10^6}{3600} = 374850 \text{ €}$$

6.4.4 Coste total de las instalaciones

El coste total de las instalaciones de District Heating ascendería a:

$$C_{DH} = C_{iPC} + C_D + C_C = 22,6 + 2,323 + 0,375 = 25,3 \text{ M€}$$

No se han tenido en cuenta los costes operativos y de mantenimiento porque se reparten durante toda la vida útil.

Debido al carácter innovador y a la reducción de las emisiones por el cambio de tecnología, es posible obtener subvenciones que permitan disminuir la inversión total.

6.4.5 Modelo de negocio

El modelo de negocio se basa en que la empresa que desarrolle el District Heating se encargue del proyecto, inversión inicial, construcción, suministro de energía y mantenimiento de las instalaciones. El consumidor pagará por la energía recibida y una tasa de mantenimiento. El consumidor verá reducida su factura de energía térmica debido a que este tipo de tecnología mantendrá un precio menor que otros tipos de tecnologías tradicionales.

En base a sistemas similares como el de Hunosa en Asturias, el volumen de negocio se encuentra entre unos 0,049 €/kWh y 0,059 €/kWh. En el caso del sistema del trabajo si tenemos en cuenta el límite inferior para ser restrictivos:

$$I = \frac{0,049 \cdot 26460 \cdot 1.10^6}{3600} = 360150 \text{ €}$$

Se hace una estimación somera del TIR, teniendo en cuenta;

- Vida útil de la instalación: 25 años.
- Inversión inicial: 25,3 M€
- Ingresos anuales: 360150 €
- Gastos anuales (costes de operación y mantenimiento): $\frac{565000}{25} = 22600 \text{ €}$

El TIR estimado es del -7,1 % por lo que el proyecto no es viable económicamente. Hay que tener en cuenta que estos cálculos son estimaciones previas a la evaluación del proyecto. En el caso de Hunosa la rentabilidad viene dada por unas condiciones especiales. Hunosa debido a las características del acuífero donde se encuentran los pozos de las minas deben mantener un bombeo constante para evitar problemas del nivel freático. Este gasto es muy elevado por lo que la instalación de sistemas de District Heating se aprovecha de esta necesidad de bombear agua para generar calor y así reducir el gasto del bombeo. La rentabilidad por lo tanto se debe a ese hecho característico.

6.5 IMPACTO

6.5.1 Ambiental

Se hará un cálculo de las emisiones de CO₂ evitadas al cambiar de caldera de gas natural a este sistema. Para ello, utilizaremos el dato obtenido anteriormente en el apartado 6.5.1.1. “Consumo estimado anual del escenario relativo a calefacción y ACS”, en el que se conoció que el consumo total es de 26.460 GJ.

Para hacer este cálculo hay que utilizar el factor de emisiones, donde conocemos los kilos de CO₂ que se emiten por cada GH de energía, recogido en el documento “Factores de emisión de CO₂ y PCI de los combustibles” (23).

Este documento nos muestra la siguiente Tabla 6-4:

Tabla 6-4 Factores de emisión de CO₂ y poderes caloríficos por defecto para la combustión estacionaria por tipo de combustible. Fuente: Informe inventarios España

Combustible	Factor de emisión (kg CO ₂ /GJPCI) ⁽⁴⁾	PCI (GJ/t)
Hulla y antracita	98,30	26,70
Carbón coquizable	94,60	28,20
Carbón de importación	101,00	24,05
Carbón nacional	99,42	19,25
Coque	107,00	28,20
Coque de petróleo	97,50	32,50
Coque metalúrgico	107,00	28,20
Fuelóleo	77,40	40,40
Gasóleo	74,10	43,00
Gas natural ^(1, 2)	55,98	48,20
GLP genérico	63,10	47,30
Gas de refinería	57,60	49,50
Neumáticos ⁽³⁾	60,44	31,57
Serrín impregnado ⁽³⁾	53,95	13,13
Aceites usados	73,30	40,20
Disolventes	85,08	18,36

En esta tabla, podemos apreciar que, en el caso del Gas Natural, el factor de emisión es de 55,98 kg CO₂/GJ.

Con este dato y el del consumo total anual de 26.460 GJ, podemos obtener el CO₂ emitido por las calderas de Gas Natural:

$$E = 26.460 \text{ GJ} \cdot 55,98 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{GJ}} = 1.481.230,8 \text{ kg CO}_2 = 1.481,23 \text{ T CO}_2$$

En el caso del District Heating, el CO₂ emitido por la instalación es cero. Pero como se necesita energía eléctrica para las bombas del pozo y para las bombas de calor, esta energía eléctrica tiene asociado también un factor de emisiones.

Como vamos a hacer una estimación del sistema, y desconocemos el dimensionamiento de las bombas de calor, etc, es difícil calcularlo. Por este motivo, tomamos como referencia los valores de Hunosa, que estiman que la reducción de CO₂ con District Heating es de, aproximadamente, el 60% de las emisiones de Gas Natural.

Por lo tanto, las emisiones con District Heating serían:

$$Edh = 1.481.230,8 \cdot 0,6 = 888.738,48 \text{ kg CO}_2 = 888,74 \text{ T CO}_2$$

6.5.2 Social

El impacto social del District Heating se puede resumir en los siguientes puntos, beneficiando a todos los actores sociales y económicos implicados en la producción de calor y frío:

- Previene la despoblación, al dotar al municipio de un servicio que mejora las condiciones de vida de los vecinos.
- Crea puestos de trabajo (construcción de red de calor, limpieza de monte, producción de astilla, mantenimiento de la red, etc.), asentando la población.
- Se produce un ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero que perjudican al clima, al reducirse el uso de energías no renovables.
- La contaminación atmosférica se controla de forma centralizada, con un impacto mucho más controlado y focalizado.
- La disminución del consumo de combustibles derivados del petróleo y gas natural, permite el ahorro de costes económicos.
- En caso de menos uso de energías no renovables, las redes centralizadas permiten un ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero que perjudican al clima.
- Es una oportunidad para diversificar servicios en el sector de la climatización y refrigeración, en un mercado que vive su primer desarrollo con un enorme potencial y viabilidad a medio plazo.
- Cuenta con el apoyo de políticas nacionales e internacionales por su aportación al cuidado del medio ambiente.
- Permite cumplir con las directivas europeas de eficiencia energética, reduciendo así los gastos de energía a la vez que aumenta la calidad ambiental del espacio.
- El sistema abarata el coste de la energía al ser un proceso que aprovecha el rendimiento de la fuente de energía y permite una negociación en bloque del precio con las empresas productoras.
- Permite optimizar los procesos de gestión, gracias a un mantenimiento centralizado de las instalaciones del que no tienen que ocuparse los propietarios y usuarios de edificios.
- Garantiza mayor seguridad, sin riesgos de explosión o intoxicación.
- Generan mayor confort de los servicios contratados para calefacción y frío, mejorando la calidad ambiental y del aire y produciendo menos ruidos y vibraciones.
- El ahorro económico que supone en los costes de la instalación y la reducción en la contaminación climática son factores clave para lograr un impulso en la adopción del sistema de District Heating en España. (24)

7 CONCLUSIONES

En este trabajo podemos apreciar la importancia del aprovechamiento de las minas abandonadas para sacar adelante proyectos que pueden resultar beneficiosos para la sociedad, así como para el medio ambiente.

Para realizar este estudio, se ha tomado como punto de partida el éxito de la experiencia Hunosa en Asturias, por el District Heating del Pozo Barredo en Mieres. Gracias a este estudio se ha podido seguir una línea de investigación aplicada a nuestro enclave, en este caso la Mina de Reocín. Hay que recalcar que, en este caso, se ha hecho un estudio previo de viabilidad, sin datos exactos y estimaciones en más de una medida, así como tomando como referencia los datos de Hunosa para realizar cálculos aproximados. Para unos resultados más exactos habría que hacer un proyecto más específico y profundo.

En el caso de Hunosa, la rentabilidad está asociada a que se debe mantener el bombeo para mantener el nivel freático a un nivel de seguridad. Por el contrario, en la Mina de Reocín, no es viable económicamente actualmente este sistema, ya que en esta mina no se tiene la necesidad de bombear. De todos modos, en un futuro pueden surgir problemas de niveles freáticos o inundaciones en las localidades próximas que obliguen a mantener un bombeo constante. Sería entonces cuando este estudio sería viable.

A nivel económico, los costes de la bomba de calor oscilarán entre 1,7-1,9 M€/MW, a lo que hay que añadir un 25% de costes de mantenimiento y operativos.

Considerando que el coste de inversión unitario de la zona es de 1.761,54 €/vivienda, y el número de viviendas que se estima es de unas 1319, entonces el coste total asciende a unos 2.323.471,26€. De esta forma, teniendo en cuenta que el emplazamiento es considerado como afueras, donde el coste unitario es de 0,051€/kWh, y el consumo estimado de todos los clientes del emplazamiento es de 26.460 GJ, entonces el coste de inversión total de las instalaciones para los consumidores sería de 374.850€.

Por otra parte, sin contar con los gastos operativos y de mantenimiento, el coste total de las instalaciones del District Heating asciende a 25,3 M€.

Habiendo calculado el TIR (-7,1%), podemos deducir que el proyecto no es viable económicamente, pero hay que tener en cuenta que son estimaciones previas a la evaluación del proyecto.

Por otra parte, el impacto medioambiental utilizando este sistema, reduce considerablemente las emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera en comparación con las emisiones de las calefacciones actuales (aproximadamente un 60% menos). Por esto, las emisiones de CO₂ con calderas de Gas Natural pasarían de 1.481,23 toneladas, a una media aproximada de 884,74 toneladas, que serían las correspondientes a las emisiones de las bombas de calor (siempre estimadas).

Por último, a los beneficios atmosféricos hay que añadirles la reducción de costes debido a la reducción de combustibles derivados del petróleo y gas natural, la mayor seguridad de los procesos, sin riesgos de explosión o intoxicación. (24)

8 REFERENCIAS

1. **Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.** *Tercer Informe de Evaluación - Cambio Climático.* 2001.
2. —. *Cambio Climático - Informe de Síntesis.* 2014.
3. *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2006-2020.* **Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.** 2006.
4. **Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.** Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030. 2021.
5. **United Nations Climate Change.** *Acuerdo de París.* Nueva York : Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2015.
6. **Comisión Europea.** *Nuevo Plan de acción para la economía circular por una Europa mas limpia y competitiva.* 2020.
7. **Instituto Geográfico Nacional.** Atlas Nacional. [En línea] Marzo de 2019.
<http://atlasnacional.ign.es/wane/Discusi%C3%B3n:Miner%C3%ADa>.
8. **Ministerio de Industria, Energía y Turismo.** Acuerdo Marco para una Transición Justa de la Minería del Carbón y Desarrollo Sostenible de las Comarcas Mineras para el Periodo 2019-2027. 24 de 10 de 2018.
9. *La energía geotérmica en la actualidad.* **U.S. Department of energy.** 2003.
10. **IDAE.** *Evaluación del Potencial de Energía Geotérmica.* Madrid : s.n., 2011.
11. **Universidad de Oviedo.** Cátedra Hunosa - Universidad de Oviedo. [En línea] Hunosa.
<https://www.unioviedo.es/catedrahunosa/index.php/geotermia-agua-mina/>.
12. *Mine Water for Energy and Water Supply in the Central.* **Santiago Jardón, Almudena Ordóñez, Rodrigo Álvarez, Pablo Cienfuegos y Jorge Loredo.** s.l. : Mine Water and the Environment, 2013, Vol. 32.
13. **Luis Manuel Lara, Antolin Hernández y José Luis Viesca.** *Valorización energética del agua de mina.* s.l. : Hunosa - Cuadernos de Energía.
14. **Instituto Geológico y Minero de España.** *Síntesis Almacenes Muy Baja Entalpía.* 1984.
15. **EPIME.** Fondo Mina de Reocín.
16. *El Karst de la Mina de Reocín: Un Problema Hidrológico.* **Gil Fernández, J. Reinoso y G. Fernández.** s.l. : Insituto Geológico y Minero de España, 1992.
17. **Instituto Geológico y Minero de España.** *MAGNA 50 - Mapa Geológico de España a escala 1:50.000.* 2003.
18. **IDAE.** *Análisis del Consumo Energético del Sector Residencial en España (Proyecto SECH-SPAHOUSEC).* 2011.

19. **Instituto Nacional de Estadística.** *Censos de Población y Viviendas. Viviendas. Resultados Municipales.* 2011.

20. **Junkers.** *Guía del Instalador de Calefacción.*

21. **IDAE.** *Estudio SPAHOUSEC II: Análisis Estadístico del Consumo de Gas Natural en las Viviendas Principales con Calefacción Individual.* 2019.

22. *Cost analysis of district heating compared to its competing technologies.* **O. Gudmundsson, J.E. Thorsen, L. Zhang.** s.l. : WIT Transactions on Ecology and The Environment, 2013, Vol. 176.

23. **Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.** *Informe Inventarios GEI 1990-2018 .* 2020.

24. **District Heating, redes de calefacción urbana. T-SOLUCIONA.** [En línea] 4 de Enero de 2018. <https://t-solucion.com/district-heating-redes-de-calor-y-frio/>.